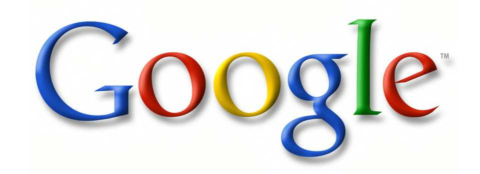


This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

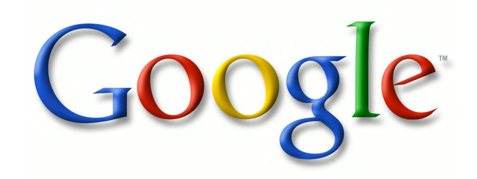
Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

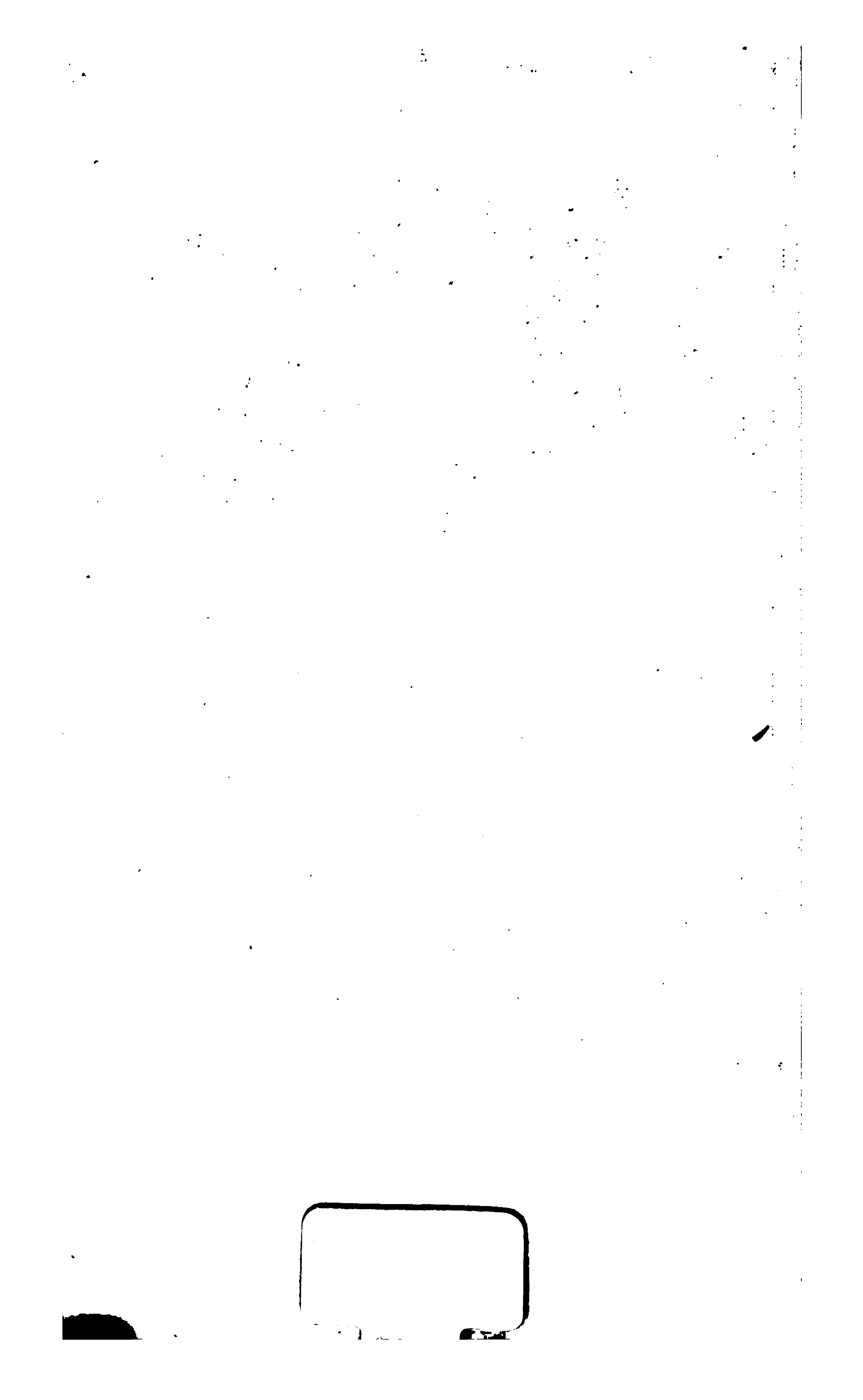
Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.
+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.
+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.
+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`


NYPL RESEARCH LIBRARIES
3 3433 06272557 1



VNF
Peligot



LE VERRE

SON HISTOIRE, SA FABRICATION

PARIS. — Impr. J. CLAYE. — A. QUANTIN et Ce, rue Saint-Benoît. — [1677]

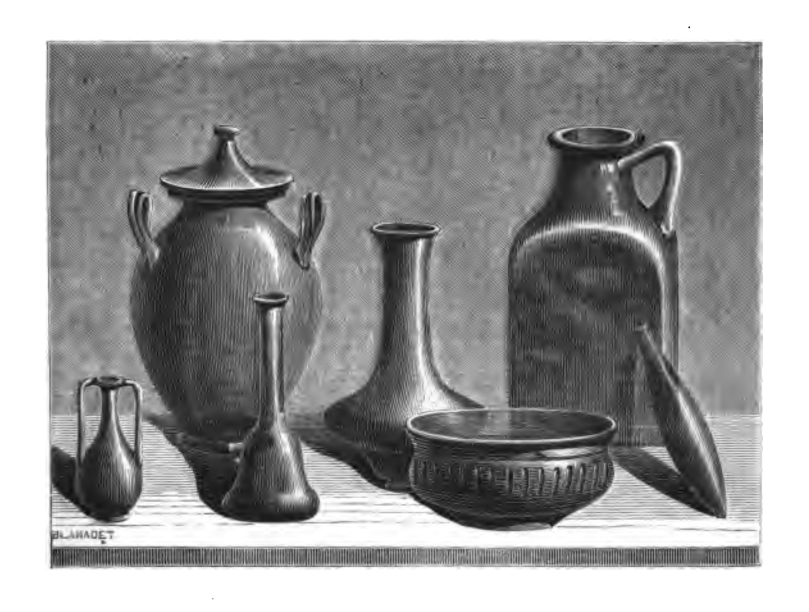
LE VERRE

SON HISTOIRE, SA FABRICATION

PAR

EUG. PELIGOT

MEMBRE DE L'INSTITUT (ACADÉMIE DES SCIENCES)



PARIS

G. MASSON, ÉDITEUR

LIBRAIRE DE L'ACADÉMIE DE MÉDECINE

Boulevard Saint-Germain, en face de l'École de Médecine

M DCCC LXXVII

NEW YORK
PUBLIC
LIBRARY

AVANT-PROPOS

Sous le titre de *Douze Leçons sur l'art de la verrerie*, l'auteur de ce livre a publié en 1862, dans les *Annales du Conservatoire des arts et métiers*, un opuscule que précédait cet avertissement :

« En publiant ces leçons, auxquelles j'ai donné, dans quelques parties, un développement que ne comporte pas l'enseignement oral, je cède au désir qui m'a souvent été exprimé par mes auditeurs. Je ne me fais pas illusion sur les imperfections qu'elles présentent; mais j'ai espéré qu'on me tiendrait compte des difficultés qu'on éprouve à rassembler

des documents un peu étendus sur l'industrie du verre, industrie qui vit par la tradition, qui évite la publicité et sur laquelle, si l'on excepte les articles des encyclopédies et des traités de chimie, aucun travail d'ensemble n'a été fait depuis plus d'un siècle et demi. »

Ce petit traité avait été rédigé d'après les notes et les documents que l'auteur avait patiemment réunis pour les cours de verrerie qu'il a créés au Conservatoire des arts et métiers et à l'École centrale des arts et manufactures : accueilli avec faveur, il est depuis longtemps épuisé. Il a été complétement refait, le présent ouvrage, n'ayant guère conservé que le cadre de la première publication.

L'auteur n'a entrepris cette nouvelle tâche, rendue plus difficile par les progrès que l'industrie du verre a réalisés dans ces quinze dernières années, qu'après s'être assuré le concours affectueux des personnes les plus autorisées en matière de verrerie. M. Bontemps, auteur de l'excellent *Guide du verrier;* M. Eugène de Fontenay, ancien directeur de Baccarat; M. Didierjean, directeur des cristalleries de Saint-Louis, et, pour la partie historique, M. Henri

de Fontenay, ont bien voulu l'aider de leurs conseils, souvent même de leurs critiques; c'est pour lui un agréable devoir de leur adresser ses remerciements pour une si précieuse coopération. Qu'il lui soit permis d'ajouter que, tout en cherchant à faire une œuvre de vulgarisation pour un art qui, plus que tout autre, a contribué aux progrès de la science et de la civilisation, il n'a sacrifié aucune des données scientifiques qui lui ont semblé utiles au développement de l'industrie verrière.

LE VERRE

PREMIÈRE PARTIE

INTRODUCTION

Le travail du verre comprend plusieurs genres de fabrications qui approprient aux usages les plus variés les merveilleuses qualités de la même matière. Le verre à vitre, les glaces, les bouteilles, la gobeleterie, les verres d'optique se font dans des établissements spéciaux, utilisant des procédés entièrement distincts les uns des autres.

Cette industrie présente ce caractère particulier, qu'elle semble être une sorte de monopole appartenant à quelques nations privilégiées. Sans remonter, dans les temps anciens, aux verreries de Sidon et d'Alexandrie, ni au moyen âge, à celles de Venise, aujourd'hui la France, la Belgique, l'Angleterre, l'Allemagne, couvrent de leurs produits tous les marchés du monde. Ce n'est certes pas dans la rareté ou dans l'abondance des matières premières qui

composent le verre qu'il faut chercher la cause de la répartition inégale de sa production, ainsi que cela arrive pour l'industrie métallurgique dont les minerais sont la propriété plus ou moins exclusive de certaines contrées : le sable, l'argile, les alcalis, le combustible, se rencontrent partout, bien qu'à des degrés divers d'abondance et de qualité : c'est plutôt l'aptitude spéciale et presque toujours héréditaire des ouvriers qui maintient cette industrie dans les mêmes conditions, et qui l'empêche de rayonner, de s'étendre au loin, ainsi que cela arrive pour la plupart des autres fabrications.

Cet état de choses tend, d'ailleurs, à se modifier. Deux grandes nations, la Russie et les États-Unis d'Amérique, commencent à fabriquer une partie des verres qu'elles consomment : des verreries s'établissent en Italie, en Espagne, en Portugal. En outre, cette industrie, pour laquelle le prix du combustible a toujours été une question d'existence, après avoir pris naissance à l'ombre des exploitations forestières, abandonne peu à peu les localités où le bois était abondant et à bon marché pour se transporter à proximité du combustible minéral : aussi, lorsque ce déplacement sera accompli, les nations qu'on peut appeler *houillères* et qui sont déjà en possession de cette industrie seront en mesure de la conserver longtemps encore, ayant dès à présent pour elles la tradition et le combustible.

Statistique de l'industrie verrière en France.

Il existe en France 182 usines qui fabriquent le verre, avec le concours de 26,000 ouvriers et l'emploi d'une force de 3,500 chevaux-vapeur environ et de 655 chevaux hydrauliques. (*Statistique de 1873.*)

La valeur créée annuellement est d'environ 109,000,000 de francs, répartis de la manière suivante :

Fabrication	des glaces	21 millions.
—	de la gobeleterie ordinaire	28 —
—	du verre à vitre	22 —
—	des bouteilles	24 —
—	du cristal	12 —
—	des verres d'optique, des perles, etc.	2 —
	Total	109 millions.

Ces résultats ne sont qu'approximatifs ; il n'est pas possible d'avoir des chiffres bien exacts, l'importance de chaque fabrication variant beaucoup d'une année à l'autre avec les besoins de la consommation ; ainsi, en ce qui concerne les bouteilles, la production dépend de la santé de la vigne et de l'abondance plus ou moins grande de la récolte du vin.

D'après la statistique de la France publiée récemment par les soins de l'Administration [1], l'industrie du verre est répartie de la manière suivante : 44 départements n'y prennent aucune part. Parmi les autres, ceux qui produisent le plus de verreries

1. *Statistique de la France; statistique sommaire des industries principales en 1873.* Paris, Imprimerie nationale, 1874.

sont les suivants : Nord, Seine, Meurthe-et-Moselle, Marne, Loire, Rhône, Saône-et-Loire, Seine-Inférieure, Aveyron, Gironde, Orne, Bouches-du-Rhône, Seine-et-Oise.

La valeur de la production est de 24 millions environ pour le Nord, 21 millions et demi pour la Seine ; pour les autres, elle va en diminuant de 6 millions et demi à 1 million (pour Seine-et-Oise) : 22 autres départements fabriquent pour moins de 500,000 fr. de produits.

D'après le même document, la valeur des verres de toute nature importés de l'étranger n'est que de 3,832,260 francs, tandis que notre exportation atteint 62,791,727 francs.

Dans un rapport fait en 1860, lors de l'enquête ouverte, à l'occasion du traité de commerce avec l'Angleterre, par le Conseil supérieur du commerce, j'évaluais à 72 millions de francs la production française ; l'exportation était estimée à 50 millions.

On sait que, jusqu'à cette époque, la verrerie étrangère était absolument prohibée en France : malgré les craintes exprimées par les maîtres de verreries, cette prohibition a été remplacée par des droits modérés. On voit, en comparant entre eux les chiffres qui précèdent, que la liberté commerciale n'a pas nui à cette industrie.

La production des verres de toute nature en Europe peut être évaluée à un demi-milliard de francs par an ; celle des États-Unis d'Amérique est de 100 millions environ.

CHAPITRE PREMIER

Classification et propriétés générales des différentes espèces de verres.

Le verre est une substance amorphe, dure et cassante à la température ordinaire, liquide ou molle à une température élevée, transparente ou translucide, incolore ou colorée, présentant une cassure particulière, lisse et brillante, qu'on appelle *cassure vitreuse*. C'est le résultat de la combinaison de l'acide silicique (la silice) avec plusieurs des bases suivantes : potasse, soude, chaux, magnésie, oxyde de plomb, alumine, oxyde de fer.

On distingue plusieurs sortes de verres, en ayant égard à leur composition, à leur mode de fabrication et à leurs usages.

Le verre à vitre, les glaces, le verre à gobeleterie ordinaire sont formés des mêmes éléments, associés dans des proportions différentes. Ces éléments sont la silice, la chaux et la soude.

Le *verre de Bohême,* qui sert en Allemagne à fabriquer la gobeleterie fine et la gobeleterie commune, est un silicate à base de potasse et de chaux. Il ren-

ferme, en outre, *comme toutes les autres sortes de verres*, une petite quantité d'alumine et d'oxyde de fer empruntée soit au creuset dans lequel il a été fondu, soit aux matières plus ou moins purifiées qu'on a employées pour le produire.

Dans notre verre à gobeleterie commune, la potasse est remplacée par la soude dont le prix est moins élevé.

Le *verre à bouteille* contient, avec la silice, de la soude ou de la potasse, de la chaux, de la magnésie, de l'alumine et de l'oxyde de fer.

Le *cristal* est un verre à base d'oxyde de plomb et de potasse. En Allemagne, on désigne toutefois sous ce nom le verre de Bohême servant à fabriquer la gobeleterie de luxe.

Le *flint-glass*, sorte de verre dense pour l'optique, et le *strass*, qui sert à imiter le diamant et les pierres précieuses, renferment, dans des proportions différentes, les mêmes éléments que le cristal.

Les *émaux* contiennent en outre de l'oxyde d'étain ou de l'acide arsénieux, qui leur donnent l'opacité qui les distingue des autres sortes de verres.

Les *verres colorés* empruntent leur coloration, qu'on peut varier à l'infini, à divers oxydes métalliques, à quelques métaux, au charbon ou au soufre.

Beaucoup de verres incolores renferment en outre une très-petite quantité d'oxyde de manganèse : ce corps a été introduit dans le but d'obtenir un verre plus blanc.

Matières premières employées dans la fabrication du verre.

Silice. — Nous avons vu que toutes les sortes de verres contiennent comme élément essentiel la silice. Le choix de cette matière exerce l'influence la plus directe sur la qualité du verre.

Pour les verres blancs, tels que le verre de Bohême, le cristal, le verre à vitre, le verre à glaces, la silice doit être aussi pure, aussi exempte de fer que possible.

Les Bohêmes emploient le quartz hyalin, étonné, trié et pulvérisé dans des mortiers en bois avec des pilons en quartz. Ils évitent ainsi l'introduction dans leur silice de parcelles métalliques.

En France, pour le cristal, les glaces, le verre à vitres, la gobeleterie fine, on se sert généralement des sables les plus blancs de Fontainebleau, de Champagne, de Nemours, de Chantilly, etc. Les sables blancs de France sont également recherchés en Belgique pour la fabrication du cristal, des glaces et des verres à vitres de première qualité.

En Angleterre, les sables du pays sont ferrugineux; aussi les glaces et les verres à vitres de fabrication anglaise présentent-ils une couleur verte très-marquée. On en est réduit à se servir du silex de la craie qu'on étonne et qu'on pulvérise. Dans les fabriques de glaces, on emploie le sable de mer de l'île de Wight; pour les produits de luxe, les cristalleries anglaises font venir leur sable de France et même d'Amérique.

Les fabricants de bouteilles recherchent au contraire les sables ferrugineux et argileux, parce que ces sables apportent avec eux le fer et l'alumine qui entrent comme fondants dans cette sorte de verre.

Potasse. — La fabrication des verres de Bohême et du cristal réclame de la potasse (carbonate de potasse) aussi pure, aussi riche en degrés que possible; néanmoins la présence de l'eau n'est pas nuisible; les potasses hydratées, marquant 54 à 56°, sont celles qui donnent les meilleurs résultats à la fusion. Les potasses qu'on emploie de préférence sont les potasses d'Amérique et la potasse provenant des résidus du travail des betteraves, qu'on désigne en France sous le nom de potasse indigène. En Bohême, on se sert de la potasse provenant des cendres de bois du pays ou de la Hongrie.

Les potasses d'Amérique, convenablement choisies et purifiées, donnent le plus beau cristal. Les potasses indigènes, également purifiées, sont aussi d'un bon emploi. Il est essentiel qu'elles soient à peu près exemptes de soude; car, sans qu'on puisse en indiquer la cause, cette matière altère l'éclat et la blancheur du cristal. Il est rare que les potasses indigènes ne renferment pas encore quelques centièmes de carbonate de soude après qu'elles ont été soumises aux procédés de purification actuellement en usage.

Soude. — Cet alcali, dont l'emploi est beaucoup plus général aujourd'hui que celui de la potasse, est introduit dans la composition du verre sous forme de carbonate (sel de soude), ou de sulfate.

Le sel de soude n'est plus guère employé que dans la fabrication de la gobeleterie fine; pour les glaces, il a été remplacé en grande partie dans ces dernières années par le sulfate de soude.

Ce dernier sel, qui donne au meilleur marché possible l'élément alcalin du verre, est aussi en usage dans la fabrication du verre à vitres et des bouteilles. On facilite sa décomposition par l'addition d'une petite quantité de charbon.

Chaux. — Pour ces deux dernières sortes de verres, pour les glaces et pour le verre de Bohême, la chaux est employée tantôt à l'état de chaux éteinte, tantôt à l'état de carbonate (pierre calcaire, craie, calcaire cru, calcaire saccharoïde, marbre).

Oxyde de plomb. — C'est presque toujours à l'état de minium que le plomb entre dans la composition du cristal, bien qu'il y soit à l'état de silicate de protoxyde de plomb. Il est de la plus grande importance que le minium soit exempt d'oxydes ou de métaux colorants quand il est destiné à la fabrication du cristal blanc. Les oxydes de fer et de cuivre sont surtout à redouter. L'argent, l'or, le manganèse, l'antimoine, le zinc, peuvent aussi se rencontrer dans cet oxyde dont la préparation se fait avec les meilleurs plombs d'Angleterre et d'Espagne.

J'aurai à revenir, en parlant des fabrications spéciales, sur chacune de ces matières premières, dont le choix, la préparation, la purification exercent une influence si grande sur la qualité des produits qui résultent de leur emploi.

Propriétés de la silice et des silicates.

Les verres, quelle que soit leur nature, ont tous un élément commun, la silice. La proportion de ce corps varie entre 80 et 30 °/₀ de leur poids.

La silice est également l'élément essentiel des divers produits céramiques, dont les usages se rapprochent souvent beaucoup de ceux des produits de l'industrie du verre; mais les procédés de fabrication sont fort différents : tandis que les verres sont travaillés à l'état pâteux, après avoir été complétement liquéfiés par l'action de la chaleur, les poteries, qui ont pour élément essentiel l'argile plus ou moins pure, rendue plastique par l'addition de l'eau qui sert à en former une pâte, reçoivent leur façon à la température ordinaire; soumises à la cuisson, elles ne changent pas de forme, tout en éprouvant un retrait considérable et en acquérant une certaine dureté. Dans cet état, elles sont, en général, perméables aux liquides. C'est par la fusion d'un émail, d'un véritable verre à leur surface, à l'aide d'une nouvelle cuisson, qu'on leur enlève cette perméabilité.

Les laitiers, les scories que produit l'industrie métallurgique, appartiennent par leur composition à la classe des matières vitreuses.

Le rôle essentiel que joue la silice dans l'industrie du verre m'oblige à rappeler sommairement ses principales propriétés.

L'acide silicique ou la silice se présente tantôt à l'état cristallisé, comme dans le quartz ou le cristal

de roche, tantôt à l'état cristallin, comme dans le grès et le sable quartzeux, tantôt à l'état amorphe, comme dans le silex ou pierre à fusil : la silice pulvérulente qu'on obtient dans les laboratoires en décomposant un silicate soluble par un acide, en lavant et en calcinant la matière hydratée, gélatineuse, qu'on obtient, est aussi de la silice pure à l'état amorphe.

La silice est une des substances naturelles les plus abondantes, soit à l'état libre, soit à l'état de combinaison avec les différentes bases. Elle est insoluble dans l'eau; néanmoins, prise à l'état naissant, c'est-à-dire séparée par un acide d'une dissolution étendue de silicate alcalin, elle reste dissoute dans le liquide à la faveur de l'acide en excès qu'il contient. La plupart des eaux naturelles en renferment une petite quantité, quelques-unes une proportion assez considérable. Les eaux des Geisers d'Islande, qui sortent de terre à la température de 100°, laissent en s'évaporant des dépôts de silice cristallisée que les minéralogistes désignent sous le nom de *geysérite*. C'est sous cette forme ou plutôt sous celle de silicate alcalin que la silice s'introduit dans les plantes; répartie inégalement dans les différentes parties des végétaux, elle entre pour une forte part dans le poids des substances minérales que fournit leur incinération; les cendres des tiges des graminées en contiennent beaucoup. Ainsi celles de la paille du froment renferment 67 de silice; celles de la canne à sucre 68 °/₀[1].

1. Ces cendres contiennent en outre pour 100 parties 22 de potasse et 10 de chaux; fondues sans addition, elles donneraient du verre (Berthier).

En évaporant à siccité, en présence d'un acide, le liquide qui renferme la silice en dissolution, celle-ci devient entièrement insoluble à la suite d'une légère calcination. C'est ainsi qu'on procède pour doser ce corps lorsqu'on fait l'analyse d'un silicate. Celui-ci est fondu avec trois à quatre fois son poids de carbonate de soude, puis décomposé par l'acide chlorhydrique ; on évapore la liqueur à siccité. Le résidu, repris par l'eau et par cet acide, fournit toute la silice à l'état insoluble.

La silice résiste à l'action de la plupart des agents chimiques. Seul parmi les acides, l'acide fluorhydrique la décompose. Aussi les verres, les poteries, tous les silicates sont attaqués, corrodés, dissous quand on les met en contact avec ce corps : la silice disparaît totalement, puisqu'en présence de l'acide fluorhydrique elle donne naissance à de l'eau et à un corps gazeux, le fluorure de silicium. Cet acide est souvent employé pour analyser les silicates.

L'action de l'acide fluorhydrique est représentée par la formule suivante :

$$SiO^2 + 2HFl = SiFl^2 + 2HO.$$

(l'équivalent du silicium = 14 ; celui de l'oxygène = 8.)

Pour fondre la silice, il faut avoir à sa disposition une température beaucoup plus élevée que celle qu'on peut produire dans nos forges et dans nos fourneaux les mieux construits. On peut donc ranger ce corps au nombre des substances infusibles. Néanmoins cette infusibilité n'est que relative ; la chaleur

énorme qui résulte de la combinaison de l'hydrogène avec l'oxygène a permis à M. Gaudin de fondre cette substance au moyen de chalumeau à gaz, d'étirer en fils le grès de nos pavés, de constater même la volatilité de ce corps qu'on croyait être fixe et réfractaire par excellence.

Les silicates alcalins dissous dans l'eau sont peu stables; ils sont décomposés par tous les acides, même par l'acide carbonique; mais si l'acide silicique, soumis aux procédés de la *voie humide*, est un des acides les plus faibles, il devient l'un des plus puissants quand on met en œuvre les procédés de la *voie sèche*. Il décompose et il déplace tous les acides volatils à des températures plus ou moins élevées. Les sulfates eux-mêmes sont ainsi transformés en silicates sous l'influence d'un feu violent.

Par la voie sèche, la silice se combine avec toutes les bases : celles qui sont fusibles lui communiquent la propriété de donner des composés fusibles, vitreux, d'autant plus fusibles que la base est en proportion plus considérable. Tels sont les silicates de potasse, de soude, de plomb, de bismuth. Les bases infusibles, comme la chaux, la magnésie, l'alumine, donnent des silicates infusibles; mais ceux-ci, mélangés avec les silicates de potasse, de soude ou de plomb, fournissent des produits qui fondent aux températures qui conviennent le mieux pour le travail du verrier : ce sont ces mélanges qui constituent les verres proprement dits.

Il y a d'ailleurs une importante remarque à faire en ce qui concerne la fusibilité des silicates multiples.

Si l'on chauffe un mélange de deux silicates qui, pris séparément, sont infusibles, on obtient un produit fusible, un verre. On a fait, il y a quelques années, à Saint-Gobain, à titre d'essai et d'étude, de belles glaces avec un mélange de sable, de chaux éteinte et de carbonate de baryte. Soumis à l'analyse, ce verre, dont l'aspect ne différait en rien de celui des glaces ordinaires, a donné la composition suivante :

Silice	46,5
Baryte	39,2
Chaux	14,3
	100,0

On voit qu'il provenait d'un mélange ou d'une combinaison parfaitement fusible de deux silicates qui, étant pris séparément, auraient fourni des composés réfractaires.

Ces faits ont pour le verrier une grande signification. Ils lui montrent la nécessité d'introduire plusieurs bases dans sa *composition;* on désigne sous ce nom le mélange des matières premières qui servent à faire le verre. Ils font voir que, pour produire un verre à aussi bon marché que possible, exigeant la moindre dépense de combustible, notamment le verre à bouteille, il convient d'associer un grand nombre de bases, la potasse, la soude, la chaux, la magnésie, l'alumine et l'oxyde de fer.

D'un autre côté, quand il s'agit de fabriquer les produits les plus réfractaires, tels que les briques destinées à construire les fours, les creusets dans

lesquels le verre doit être fondu, le choix de silicates d'une composition aussi simple que possible est d'une extrême importance : les argiles les plus réfractaires sont formées de silice et d'alumine, à peu près exemptes non-seulement d'alcalis, mais de chaux, de magnésie et d'oxyde de fer.

Nature chimique des verres.

Nous venons d'établir que les verres qu'on fabrique aujourd'hui sont toujours des silicates à plusieurs bases. Doit-on les envisager comme des mélanges ou bien comme des combinaisons? cela peut dépendre évidemment des proportions dans lesquelles les éléments se trouvent associés. Mais doit-on chercher à unir les bases avec la silice dans des rapports atomiques, de manière à produire de préférence des combinaisons? A mon avis, on doit chercher à éviter les rapports atomiques. Les silicates définis, notamment les silicates de chaux, de magnésie, de soude sont cristallisables. Heureusement, ceux de potasse et de plomb ne le sont pas et s'opposent même à la cristallisation des silicates terreux avec lesquels ils sont mélangés ou combinés. Cette propriété est fort importante, car c'est sur elle que repose tout le travail du verre. Dans quelques cas particuliers seulement, on voit apparaître la cristallisation; elle implique la production de composés chimiques définis. Ce phénomène, qu'on cherche à éviter, est connu des verriers sous le nom de *dévitrification*.

Je dois ajouter que la question de savoir si les

verres doivent être considérés comme étant des composés définis ou bien comme des mélanges de divers silicates est loin d'être résolue. Un chimiste russe, M. Benrath, de Dorpat, en a fait l'objet d'une étude approfondie. D'après lui, la question a été jusqu'à présent mal posée. En prenant comme point de départ la composition chimique d'un grand nombre d'échantillons de verres de toute nature et de toutes provenances, composition déterminée soit par lui, soit par les analystes les plus autorisés, il estime qu'au lieu de chercher *la composition moyenne* de ces verres, de manière à déduire pour un certain nombre d'entre eux une formule atomique, il convient d'admettre *une composition normale* dont les verres les meilleurs se rapprocheraient le plus.

Cette composition normale serait représentée, d'après M. Benrath, par les formules suivantes :

Pour les verres à base de chaux et de soude (glaces, verres à vitres, etc.) :

N° 1 — $5(NaO,3SiO^2) + 7(CaO,3SiO^2)$.

Pour les verres à base de chaux et de potasse (verre de Bohême) :

N° 2 — $5(KO,3SiO^2) + 7(CaO,3SiO^2)$.

Pour le verre à base de potasse et d'oxyde de plomb (cristal) :

N° 3 — $5(KO,3SiO^2) + 7(PbO,3SiO^2)$.

La formule n° 1 donne les résultats numériques qui suivent :

36 équivalents	de silice	=	1080	75,5[1]
5 —	de soude	=	155	10,9
7 —	de chaux	=	196	13,6
			1431	100,0

Plusieurs échantillons de verres à glaces et de verres à vitre, dont les analyses sont données dans la suite de ce livre, présentent une composition qui s'écarte peu de celle qui est représentée par cette formule. M. Benrath cite des analyses de verres qui renfermeraient 95 à 98 pour 100 de son verre normal et 5 à 2 pour 100 de soude ou de chaux en excès.

Pour la formule n° 2, la composition centésimale est la suivante :

Silice	71,5
Potasse	15,5
Chaux	13,0
	100,0

Pour le cristal (formule n° 3) :

Silice	51,5
Potasse	11,2
Oxyde de plomb	37,3
	100,0

1. Les équivalents employés dans ces formules sont :

Oxygène	8
Silicium	14
Potasse	47
Soude	31
Chaux	28
Oxyde de plomb	111,5

Ces nombres représentent assez bien aussi la composition de plusieurs échantillons de verre de Bohême et de cristal. Mais les différences sont grandes pour d'autres verres de chacune de ces espèces ; quelques-uns ne contiendraient pas au delà de 40 à 50 pour 100 de verre normal, le restant étant formé par du trisilicate de chaux ou de soude, ou bien par ces bases à l'état libre.

Je dois en outre faire observer que la formule proposée par M. Benrath est bien inusitée, le rapport de l'oxygène des bases à l'oxygène de l'acide étant de 1 à 6; ce rapport est de 1 à 3 dans les silicates naturels les moins basiques, notamment dans l'albite et dans l'orthose.

D'après l'auteur de ce travail, les verres réputés les meilleurs, sous le rapport de la fusibilité et de la résistance à l'action de l'eau et des acides, contiendraient de 85 à 98 de verre normal; ceux qui en renfermeraient le moins seraient, au contraire, les plus altérables.

On peut objecter que pour établir ces faits d'une manière générale, il n'est pas besoin de recourir à des formules atomiques; on sait que les verres les plus riches en alcalis et en chaux et dans lesquels la silice est, par suite, en moins grande quantité, sont ceux qui s'altèrent le plus; comme la qualité des verres réputés les meilleurs n'a pas encore été établie par des essais comparatifs, il est permis de douter qu'un verre qui présenterait exactement la composition exigée par les formules qui précèdent devrait être considéré comme l'idéal du genre, et comme

étant préférable à un autre qui s'en écarterait sensiblement.

On sait, de plus, qu'étant donnée une substance complexe comme le verre ou tout autre silicate, i est toujours facile, à l'aide de facteurs suffisamment élevés, de représenter la composition de ce corps par une formule, en tenant compte surtout des écarts et du degré d'approximation que donnent les procédés d'analyse.

Ainsi, en ce qui concerne le verre qu'on fabrique actuellement à Saint-Gobain, la formule qui suit représenterait sa composition avec une approximation suffisante :

		Calcul.	Composition réelle.
$14SiO^2$	420	74,2	73,0
3CaO	84	14,9	15,5
2NaO.	62	10,9	11,5
	566	100,0	100,0

Il ne semble pas d'ailleurs impossible qu'on puisse produire un verre d'une qualité supérieure *au verre normal*, plus dur, plus réfractaire, résistant mieux à l'action prolongée des acides bouillants, en suivant, par exemple, la voie qui a été tracée par M. Stas dans le but d'obtenir des pièces soufflées, telles que matras, cornues, etc., employées dans les laboratoires. Tous les chimistes savent par expérience que la verrerie à leur usage fabriquée en France ou en Belgique laisse beaucoup à désirer, tandis que celle qu'on fabrique en Bohême est excellente. Les verres de ce pays, très-riches en silice, sont fondus et travaillés à une très-haute température. M. Stas avait

besoin, pour les recherches sur les équivalents qui ont illustré son nom, de verre de très-bonne qualité; en tenant compte de ce fait, qu'un mélange de carbonate de potasse et de soude est plus fusible que chacun de ces sels pris isolément, il fit remplacer, dans le verre réfractaire dont il faisait la commande, une partie de la potasse par de la soude. On sait que le verre de Bohême est à base de chaux et de potasse.

En substituant à la moitié de ce dernier corps un poids équivalent de soude, M. Stas a obtenu un verre plus fusible que le verre de Bohême, quoique d'un travail difficile, fort peu hygrométrique, très-dur, et sur lequel les acides concentrés n'exerçaient aucune action.

L'analyse de fragments de ballons, provenant de deux fontes différentes, lui a donné :

	I.	II.
Silice	76,4	77,3
Potasse	7,1	6,2
Soude	5,9	6,5
Chaux	10,6	10,0
	100,0	100,0

M. Stas n'a pas cherché, assurément, à faire un produit ayant une composition atomique; il a fait de la prose sans le savoir; mais les analyses qui précèdent s'accordent bien avec la formule suivante :

		Calcul.
$16SiO^2$	480	77,7
KO	47	7,7
NaO	31	5,4
$2CaO$	56	9,2
	614	100,0

Comme nous ne connaissons pas de silicates naturels ayant une composition analogue, il est probable que ce verre contient à l'état de simple mélange une partie de la silice, celle-ci étant rendue fusible par les silicates qui l'accompagnent. La concordance des nombres qui précèdent avec la formule n'est donc, à mon avis, qu'un résultat fortuit, n'impliquant pas l'existence d'un composé défini. Des phénomènes de ce genre se produisent fréquemment dans la production des alliages métalliques.

En résumé, tout en reconnaissant l'importance et l'intérêt des études faites par M. Benrath, j'estime qu'elles établissent surtout qu'en s'écartant le moins possible des *verres normaux* signalés par ce chimiste, on fabriquera constamment, et à coup sûr, des produits dont l'expérience de tous les jours constate la bonne qualité.

Une fois fondus à la température du rouge blanc, les silicates multiples qui donnent naissance aux verres acquièrent un état de fluidité comparable à celui de l'eau; tout en offrant une grande rigidité quand ils sont refroidis, ils deviennent plastiques, malléables au rouge cerise; de l'état liquide, ils passent à l'état solide en prenant tous les degrés intermédiaires de mollesse. Aussi, de même que la cire sous la main du modeleur, le verre reçoit et conserve toutes les formes qu'on lui donne. Par le soufflage, on en fait des cylindres, des ballons, des objets de gobeleterie de toute nature; le laminage le transforme en plaques qui servent à faire les glaces; on le met au moule

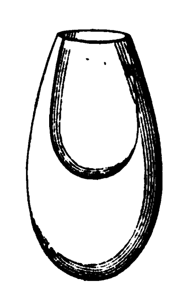
pour fabriquer les bouteilles; en l'étirant, on en fait des tubes qui, ramollis à la lampe d'émailleur, donnent des fils très-flexibles et d'une finesse extrême, qu'on enroule sur un rouet, qu'on peut travailler comme le lin et la soie, et dont on a fait des aigrettes, de brillants tissus et même des perruques.

Action de la chaleur sur les verres. Trempe et recuit du verre.

Le verre, étant un corps à la fois mauvais conducteur de la chaleur et très-fragile, éclate immédiatement quand, étant chaud, on le soumet à un brusque refroidissement. Tous les objets en verre, quel que soit leur mode de fabrication, sont le résultat d'un travail très-rapide; soumis à un refroidissement brusque par l'air ambiant, ils sont tellement cassants qu'ils ne seraient propres à aucun usage si l'on ne corrigeait ce défaut par une opération ultérieure, le *recuit*, qu'on fait subir à toutes les pièces fabriquées. Dans ce but, on dépose ces pièces aussitôt après qu'elles sont terminées, et encore rouges, dans une longue galerie chauffée par la chaleur perdue ou dans un four spécial, et on les fait cheminer de manière que leur refroidissement se fasse très-lentement; ou bien on bouche les ouvertures de ce four, lorsqu'il est plein, dans le but d'obtenir le même résultat. Le recuit est d'autant plus difficile à obtenir, et doit être d'autant plus soigné, que les pièces de verre sont plus épaisses et plus volumineuses. C'est à un recuit insuffisant qu'il faut

attribuer la casse si fréquente des verres de lampe, surtout quand on les emploie pour la première fois; car lorsqu'ils résistent, l'usage même qu'on en fait équivaut à une recuisson.

Au moment de la solidification d'une pièce de verre un peu épaisse, les parties qui la composent éprouvent une contraction inégale; les parties extérieures sont déjà solidifiées, quand la partie interne est encore molle; de là un état d'équilibre instable que révèle fréquemment la rupture de la pièce, soit par un changement brusque de température, soit par un choc. On désigne dans les verreries, sous le nom de *fioles d'épreuve*, des pièces soufflées en verre épais, destinées à reconnaître l'état d'affinage du verre dont on va commencer le travail. Ces pièces, abandonnées loin des fours à un refroidissement brusque, sont tellement fragiles, que le plus petit caillou projeté dans leur intérieur suffit pour les faire éclater; un léger changement de température peut aussi déterminer leur rupture, surtout quand elles sont de confection toute récente (fig. 1).


Fig. 1.

Les *larmes bataviques* présentent au plus haut degré ce caractère de fragilité que le verre acquiert par la trempe. Ce sont des gouttes de verre terminées par une pointe très-déliée qu'on produit en laissant tomber du verre très-liquide dans un baquet plein d'eau froide.

Les phénomènes qui accompagnent la rupture

des larmes bataviques ont attiré à plusieurs reprises l'attention des physiciens et des chimistes; on sait qu'elles jouissent de la singulière propriété de pouvoir être frappées assez fortement sur le gros bout avec un marteau, tandis qu'en cassant l'extrémité de la queue, elles se réduisent en poussière avec explosion.

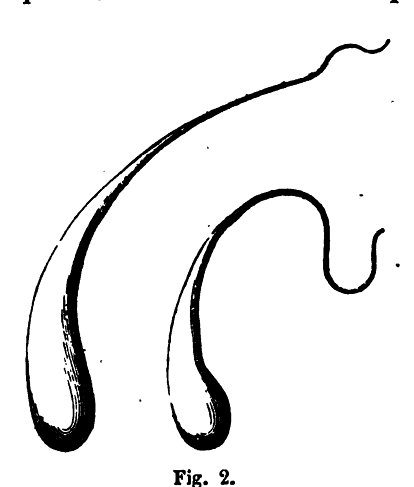


Fig. 2.

Cette expérience, qui amène la projection violente de nombreux fragments de verre, ne doit être faite qu'en comprimant fortement la larme batavique dans la main au moment où on en détermine la rupture.

Les larmes bataviques ont beaucoup occupé les physiciens du XVII[e] siècle. Le prince Rupert de Bavière est, dit-on, le premier qui ait importé ce produit d'Allemagne en Angleterre : des larmes bataviques furent présentées à la Société royale, et un rapport fut fait à ce sujet en 1661; un peu plus tard, la rupture en grande cérémonie de quelques larmes bataviques apportées de Hollande à Paris par un ambassadeur de Suède attira vivement l'attention des savants, dont plusieurs furent, sans doute, quelques années plus tard, en 1666, les premiers membres de l'Académie des sciences.

On expliquait de la manière suivante l'explosion

de ces petites ampoules de verre : lorsque la goutte de verre fondu tombe dans l'eau froide, la couche extérieure se solidifie, tandis que la masse intérieure est encore à une température rouge; celle-ci, une fois refroidie, se trouve dans un grand état de tension, par suite de son adhérence à la couche déjà figée : elle conserve forcément un volume qui est différent de celui qu'elle aurait si toute la masse s'était refroidie avec lenteur. Vient-on à détruire la solidarité établie entre les particules du verre, en l'entamant sur un point quelconque, en cassant, par exemple, la fine queue de la larme, tout l'édifice s'écroule et se réduit en poussière.

Berzelius compare cette rupture du verre à celle d'un morceau d'étoffe fortement tendu qui résiste à la tension tant qu'il conserve son intégrité, tandis qu'il se déchire à la moindre fissure qu'on y pratique avec des ciseaux.

Il est facile de constater qu'en chauffant au rouge et en laissant refroidir lentement une larme batavique, elle perd complétement la faculté d'éclater quand on vient à rompre sa pointe effilée.

M. de Luynes a publié récemment des études intéressantes sur la trempe du verre et sur les larmes bataviques. D'après ses expériences, les effets produits sont dus principalement à l'état particulier des couches extérieures; la masse intérieure du verre ne joue qu'un rôle secondaire dans le phénomène.

Il rappelle d'abord que le verre brusquement refroidi, c'est-à-dire trempé, reste dans un état de

dilatation plus grand que si le refroidissement s'était opéré avec lenteur[1].

En brisant l'extrémité de la queue d'une larme, on produit dans le verre trempé des vibrations dont il est impossible d'apprécier les effets; aussi M. de Luynes a substitué à ce moyen mécanique un agent chimique, l'acide fluorhydrique, dont on peut modérer l'action au gré de l'opérateur, et qui permet de détruire à volonté et sans secousse la partie de la larme que l'on veut attaquer. On suspend à l'aide d'un fil, et par le gros bout, une larme au-dessus d'un vase de platine plein d'acide fluorhydrique, de telle manière que l'extrémité seule de la queue plonge dans l'acide; la queue de la larme peut être entièrement dissoute sans que l'explosion se produise : mais lorsqu'on arrive au col, l'équilibre est toujours rompu; la larme se sépare en une infinité de fragments qui tombent dans l'acide sans produire d'explosion; quelquefois cette désagrégation est accompagnée de bruit, comme dans le cas d'une rupture brusque. D'autre part, une larme plongée dans le même acide par la partie renflée se dissout complétement sans explosion

(1) MM. Chevandier de Valdrôme et Wertheim avaient constaté que la densité des verres augmente en moyenne de 0,0045 par le recuit. Voici les résultats qu'ils ont obtenus :

	DENSITÉ	
	Avant le recuit.	Après le recuit.
Verre à vitre de la manufacture de Saint-Quirin.	2,517	2,523
Verre à glace de la manufacture de Cirey. . . .	2,454	2,467
Verre à gobeleterie non coloré de Valérysthal. .	2,446	2,450
Cristal blanc et coloré de Baccarat.	3,320	3,324

(*Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 1845.*)

et la queue reste entièrement intacte avec l'origine du col.

Ces expériences établissent que la stabilité de la larme dépend surtout de l'existence des parties de verre qui constituent l'origine du col : c'est *la clef de voûte* de l'édifice; elles montrent, en outre, qu'en respectant ces parties, on peut enlever de proche en proche les couches extérieures sans que la rupture se produise; ce qui semble prouver que leur existence n'est pas nécessaire au maintien de l'équilibre. Les couches extérieures sont les plus dilatées; celles qui viennent ensuite le sont de moins en moins, à mesure qu'on arrive vers le centre; de sorte qu'on peut comparer une larme batavique à une série de poires de caoutchouc gonflées se réunissant par leur col assujetti par une même ligature; en coupant celle-ci, l'équilibre est rompu, tandis qu'on peut inciser successivement chaque poire sans détruire l'ensemble du système.

En dissolvant une larme dans l'acide fluorhydrique, la naissance du col étant préservée, on enlève les couches extérieures, et le noyau qui reste ne se brise plus quand on casse le bout de la larme. Lorsque l'acide n'a pas enlevé une épaisseur de verre assez grande, les propriétés explosives persistent, mais leur intensité décroît à mesure que la couche intérieure diminue.

Si les tensions inégales des couches superposées déterminent la rupture par un effet de ressort lorsqu'on les rend libres de se détendre, les particules de verre de chaque couche doivent se déplacer en

sens inverse, suivant que la rupture a lieu du côté de la queue ou du côté du gros bout; de là une différence dans l'arrangement de ces particules après la rupture : c'est ce que M. de Luynes a constaté; sur des larmes encastrées à moitié dans du plâtre, on

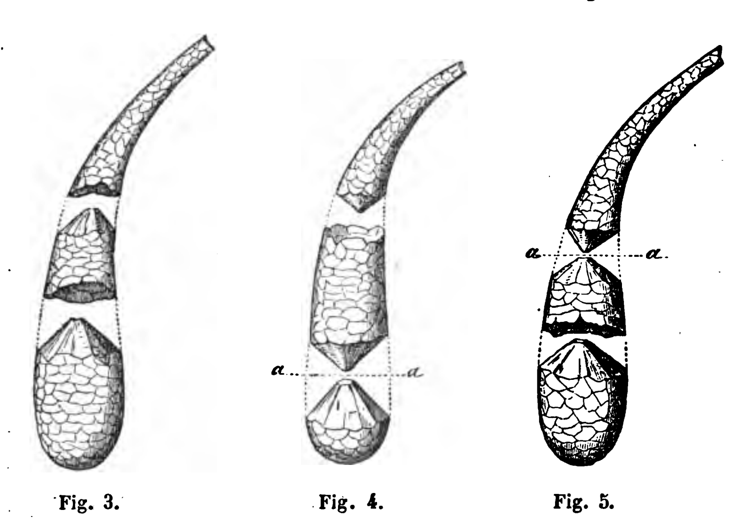


Fig. 3. Fig. 4. Fig. 5.

a fait agir l'acide fluorhydrique pour attaquer la queue; ou bien on en a coupé le gros bout à la scie; après rupture, les fragments maintenus par le plâtre restent superposés. On voit alors nettement, quand ce plâtre est frais, que l'ensemble se compose de petits fragments coniques, tronqués, enchevêtrés les uns dans les autres. Si la larme est rongée par la queue, c'est vers celle-ci que sont dirigés les sommets de ces cônes; si elle est sciée par le gros bout, la direction de ces sommets est en sens inverse (fig. 3 et 4). Enfin, si la larme est sciée par le milieu (fig. 5), elle offre de

chaque côté, avec des directions contraires, la même texture conique.

Des grosses baguettes ou des tubes pleins en verre trempé présentent des phénomènes semblables à ceux qui sont offerts par les larmes bataviques. C'est à une cause du même genre qu'il faut rapporter la production des tressaillures régulières qu'on obtient sur les poteries dites *craquelées*.

Lors de la rupture des larmes bataviques ou des tubes trempés, il y a élévation subite de température et même dégagement de lumière; ces faits, avancés par M. L. Dufour, ont été confirmés par M. de Luynes.

Les fragments de verre projetés par l'explosion d'une larme batavique sont animés d'une telle vitesse que si l'expérience est faite dans un vase plein d'eau, ce vase est brisé, alors même qu'il est fort épais. C'est aussi ce qui arrive lorsqu'on casse la pointe d'une larme dans la cavité formée par un fond de bouteille renversée sur le sol, cette petite coupe étant préalablement remplie d'eau; celle-ci est brisée et projetée contre la terre avec l'eau qu'elle contient.

Ces propriétés du *verre trempé* sont intimement liées à celles du *verre durci* de M. de la Bastie dont nous avons maintenant à nous occuper.

Verre durci, verre incassable.

Une découverte fort inattendue est venue dans ces derniers temps compromettre la vieille réputa-

tion de fragilité que possède le verre[1]. Cette découverte est due à M. de la Bastie, agriculteur très-distingué du département de l'Ain.

M. de la Bastie a observé que le verre, de même que l'acier, possède la propriété de durcir quand on le refroidit brusquement. La théorie de la trempe sera sans doute la même pour l'une et pour l'autre de ces substances, si différentes qu'elles soient; mais elle est encore à trouver. On peut, d'ailleurs, y voir un phénomène de métamorphisme, la structure moléculaire du verre étant profondément modifiée; le verre durci, en effet, quand il est cassé, éclate et se divise en une infinité de fragments de forme presque symétrique, ainsi que cela arrive pour les larmes bataviques.

La trempe, bien exécutée, augmente considérablement la solidité du verre, qui peut alors résister à des chocs qu'il ne supportait pas. Un carré de verre

1. Dans *Polyeucte,* Corneille fait dire à son héros, à propos des biens et des honneurs de ce monde :

. . . .
Toute votre félicité
Sujette à l'instabilité
En moins de rien tombe par terre,
Et comme elle a l'éclat du verre,
Elle en a la fragilité.

(*Polyeucte,* acte IV.)

On connaît cette boutade du poëte Maynard sur la noblesse d'un gentilhomme verrier de son temps :

Votre noblesse est mince
Et ce n'est pas d'un prince,
Daphnis, que vous sortez :
Gentilhomme de verre,
Si vous tombez par terre,
Adieu la qualité.

à vitre double, recuit comme à l'ordinaire, étant placé dans un cadre en bois, se brise infailliblement par la chute d'un poids de 100 grammes qui tombe à sa surface d'une hauteur de un mètre; ce poids, tombant d'une hauteur trois et quatre fois plus considérable, ne détermine pas la rupture du même verre après qu'il a été trempé; sa solidité est au moins décuplée; d'après M. Siemens, de Dresde, elle serait même 50 fois plus grande. Des verres de montre, des bobèches en verre mince, une fois trempés, peuvent être projetés sur le parquet sans se briser; chacun connaît par expérience la fragilité des objets de cette nature.

Il paraît aussi que le verre trempé peut subir sans accident des changements brusques de température. Tous ceux qui font usage des lampes apprécieraient cette nouvelle et importante propriété.

Enfin un des effets remarquables de la trempe est d'augmenter notablement l'élasticité du verre; une feuille arquée, placée à terre sur son côté convexe, peut devenir plane, supporter sans se rompre le poids d'un homme, et reprendre sa forme bombée primitive lorsque ce poids est supprimé.

Il convient d'ajouter qu'à côté de ces avantages le verre trempé présente dans certains cas quelques inconvénients, quelques points noirs : il ne se coupe plus au diamant, comme le verre ordinaire, dont il ne conserve pas toujours l'éclat et la transparence; quand un vase fabriqué avec ce verre est employé pour chauffer un liquide, si ce vase vient à se briser, il éclate comme une larme batavique; le vase et le

liquide sont projetés au loin dans un grand état de pulvérisation.

Plusieurs éléments interviennent pour établir le coefficient de solidité du verre trempé. Il faut tenir compte : 1° de la nature du verre ; 2° de la composition du bain à tremper; 3° de la température du bain et de celle du verre. M. de la Bastie est arrivé, par des expériences nombreuses, à déterminer ces éléments, tout en se réservant de continuer les recherches qui doivent compléter son œuvre.

Chacun sait qu'en immergeant dans l'eau froide une pièce de verre chauffée, elle se casse ; c'est ainsi qu'on *étonne* le verre dans le but de le réduire plus facilement en poudre. Pour éviter la rupture et pour obtenir le durcissement, il faut que le bain à tremper soit à une température élevée, à 150 degrés environ ; on se sert par conséquent d'un bain d'huile ou de graisse. Il faut, de plus, que la pièce à tremper soit portée au rouge sombre ; qu'elle soit chauffée jusqu'au point auquel elle commence à se ramollir. C'est dans cet état qu'elle est plongée dans le bain. Il y a lieu, par conséquent, de surveiller attentivement le four à réchauffer pour éviter soit la déformation des pièces, soit la perte de leur transparence par un commencement de dévitrification.

A l'occasion d'une communication sur le verre trempé faite récemment par M. Clemandot à la Société des ingénieurs civils, M. Armengaud a donné des détails intéressants sur la mise en œuvre du procédé et sur l'outillage qui a permis de réaliser industriellement la trempe du verre.

Deux points essentiels, d'après M. Armengaud, caractérisent le procédé de M. de la Bastie. Ce sont : 1° l'échauffement du verre à une température telle qu'il devienne malléable; 2° son immersion à cet état dans un bain composé de plusieurs matières grasses, cire, graisse, huile, résine, etc., ce bain étant porté lui-même à une température bien supérieure à celle de l'ébullition de l'eau. C'est la différence de ces deux températures dans des limites assez élevées qui donne le durcissement.

Pour réaliser pratiquement ces deux conditions, l'auteur de cette découverte s'est heurté d'abord à de nombreux obstacles ; il n'est parvenu à les surmonter qu'à la suite de longues et patientes recherches.

Il faut, en premier lieu, empêcher que le bain ne s'enflamme, soit en raison de la haute température à laquelle il est porté, soit par son contact avec le verre chauffé. D'un autre côté, le verre, rendu malléable par la chaleur, ne doit pas se déformer. Enfin il est nécessaire de le manipuler à distance, sans le toucher, et en évitant tout choc capable de le briser avant la trempe.

On a rempli ces conditions en isolant de l'air extérieur la chaudière renfermant le bain à tremper; cette chaudière est elle-même en communication avec le four de chauffe. Sur la sole de ce four, en face de l'entrée de la chaudière, on a disposé une bascule faisant partie de la sole même sur laquelle on pose le verre. Cette bascule étant abaissée, permet au verre de glisser dans le bain,

qui renferme une table mobile dont le plan incliné est la continuation de la pente donnée à la bascule. La feuille de verre peut ainsi changer de place et descendre dans le bain de trempe, sans secousse aucune, en étant constamment soutenue sur toute sa surface. Cet arrangement permet d'éviter à la fois l'inflammation du bain de trempe et la déformation du verre. Pour prévenir le choc du verre lorsqu'il arrive au fond de la cuve, on le fait butter contre un bourrelet ou tampon de toile métallique.

A l'intérieur de l'appareil sont agencées les parties mobiles qui dirigent automatiquement la marche du verre et qui sont elles-mêmes actionnées par un ouvrier, à l'aide d'un mécanisme de commande disposé à l'extérieur.

Voici maintenant comment l'opération s'exécute : Le four étant suffisamment chaud, l'ouvrier en ferme les portes avec de la terre glaise, entretient le feu avec quelques bûches et interrompt le tirage de la cheminée en la couvrant d'un capuchon. La chaudière, qui est en communication avec le four, a été remplie du mélange des matières grasses; elle est chauffée par les flammes d'un foyer spécial circulant autour de ses parois, sans contact possible avec les matières très-inflammables qu'elle contient. L'ouvrier introduit sur la sole fixe les feuilles de verre graduellement chauffées dans une étuve contiguë au four; il les pousse sur la bascule qui est en terre réfractaire bien polie; dès que le verre a acquis le degré de chaleur convenable, un autre ouvrier fait pivoter

la bascule et l'amène dans le prolongement de la table inclinée. Ce mouvement fait glisser le verre, qui pénètre sans secousse dans le bain et vient butter contre le bourrelet élastique. Après un court séjour dans ce bain, il est relevé avec la table sur laquelle il repose; puis, à l'aide d'un râteau, on l'engage dans une gaîne en métal supportée par des barreaux au sommet de la chaudière. Cette gaîne est retirée quand elle est pleine et remplacée par une autre.

Il est permis de croire que cet outillage, si ingénieux qu'il soit, sera remplacé plus tard par un outillage beaucoup plus simple. Lorsqu'une pièce de verre vient d'être façonnée, elle se trouve nécessairement, pendant un certain temps, à la température voulue pour subir la trempe. On a déjà fabriqué des verres à boire d'une grande résistance au choc en les plongeant, avant de les détacher de leur pontil, dans un bain salé porté à une certaine température. C'est par la trempe exécutée dans la verrerie même, sans rechauffage préalable des pièces, que cette opération est appelée à devenir à la fois pratique et économique. Cette dernière façon donnée aux produits en cours de fabrication doit elle-même varier beaucoup en raison de leur nature et de l'usage auquel ils sont destinés.

Le verre durci est un nouveau produit qui, sans aucun doute, prendra dans l'industrie une place importante. Sans exagérer la portée de cette découverte; sans admettre avec certaines personnes qu'il est destiné à remplacer la porcelaine et les vases en métal pour tous les ustensiles de cuisine et de mé-

nage; et surtout sans partager en aucune façon l'opinion de quelques verriers qui pensent que la durée plus longue des produits de leur fabrication en diminuera l'importance, il est permis de prédire au verre durci un avenir brillant dans un temps plus ou moins prochain. En dehors des carreaux de vitres pour les serres, carreaux devenus réellement incassables par la grêle, on peut admettre dès à présent que des tuiles en verre à la fois solides, légères, transparentes, et à bon marché, seraient pour l'art de construire une acquisition des plus précieuses et permettraient, sous la main d'un architecte habile, de modifier souvent de la manière la plus heureuse les dispositions générales de nos habitations.

Quand le verre n'a été ni recuit ni trempé, on le fend aisément en lui faisant subir un changement brusque de température. Les ouvriers mettent à chaque instant cette propriété à profit pour séparer de leur canne les objets soufflés, pour fendre les manchons de verre, pour détacher le verre qui adhère à leurs outils, etc.; il leur suffit de toucher le verre avec un morceau de fer froid au point où ils veulent déterminer sa rupture. Lorsqu'il a subi le recuit, s'il est déjà fêlé sur un point, on continue la fente, et on la dirige à volonté, en chauffant le verre à une petite distance de celle-ci avec un fer rouge, ou mieux avec le *charbon à couper le verre*. Berzelius prépare ce charbon, dont on se sert fréquemment dans les laboratoires pour utiliser les vases de verre

fêlés, avec une pâte composée des matières suivantes :

5 parties de gomme arabique dans 8 parties d'eau.
2 — de gomme adragante dans 12 parties d'eau.
1 — de storax calamite dans 3 parties 1/2 d'alcool.
1 — de benjoin dissous dans 2 parties d'alcool.
12 à 14 de charbon de bois en poudre.

Le mélange étant bien homogène, on le moule sous la forme de petits cylindres qu'on laisse sécher lentement.

Ce charbon, une fois allumé, continue à brûler, sans s'éteindre, quand on souffle dessus.

On obtient le même résultat avec du fusain trempé dans une dissolution d'azotate de plomb, et séché ; ou bien, avec de simples règles en bois blanc qu'on fait bouillir avec de l'eau chargée d'azotate de potasse et qu'on soumet ensuite à une complète dessiccation.

Cristallisation du verre ; dévitrification.

Parfois le verre, maintenu pendant longtemps à une température élevée, change d'état ; il perd sa transparence, il devient opaque. Il subit cette transformation tout en conservant la forme qu'il a reçue. Ce curieux phénomène est connu sous le nom de *dévitrification*.

Le verre dévitrifié a été étudié en 1727 par Réaumur. Cet illustre physicien, en maintenant pendant douze heures dans un four à porcelaine des objets en verre qu'il avait enterrés dans des pots remplis de sable et de gypse, transformait le verre en une subs-

tance opaque, assez dure pour faire feu au briquet, ayant l'aspect de la porcelaine blanche. De là le nom de *porcelaine de Réaumur* qu'on a donné à ce produit.

A diverses époques, on a vainement cherché à introduire dans l'industrie des objets en verre dévitrifié; il est difficile, en effet, de ne pas déformer les pièces qu'on soumet ainsi à l'action d'une température élevée longtemps prolongée. Cette opération entraîne d'ailleurs une grande dépense de combustible.

On avait d'abord pensé que cette transformation était due à la formation de silicates définis, se produisant au sein de la masse vitreuse soit par une sorte de liquation, soit par la volatilisation d'une partie de l'alcali, ou par l'absorption de celui-ci par le milieu dans lequel elle est placée. Le verre prend, en effet, en se dévitrifiant, un aspect cristallin très-apparent. Plus tard, M. Pelouze a établi que le verre dévitrifié offre exactement la même composition que le verre transparent qui lui a donné naissance. Un morceau de glace de Saint-Gobain, chauffé pendant vingt-quatre à quarante-huit heures sur la sole d'un four à recuire, ne subit aucun changement de poids ; par la fusion, qui n'a pas paru exiger une température plus élevée, cette glace donne un verre transparent, dont la composition était restée la même. Ce verre, ainsi dévitrifié, est moins cassant que le verre ordinaire qu'il raye facilement; le diamant ne le coupe plus; il a une texture fibreuse très-marquée. Il conduit beaucoup mieux l'électricité.

Tous les verres, d'après M. Pelouze, peuvent être dévitrifiés; le cristal lui-même subit cette modification, mais bien plus difficilement que les autres verres; sa cassure devient lisse, elle n'est pas fibreuse; les verres à base de potasse se dévitrifient d'ailleurs beaucoup moins facilement que ceux à base de soude.

Le silicate de soude est celui qui se dévitrifie le plus facilement; il devient opalin par un simple recuit.

La dévitrification est rendue plus prompte et plus facile, d'après les expériences de M. Pelouze, par le contact du verre en poudre mêlé avec quelques centièmes de son poids de sable et même par l'intervention du verre pulvérisé.

Le verre à vitre et le verre à bouteille sont sur-

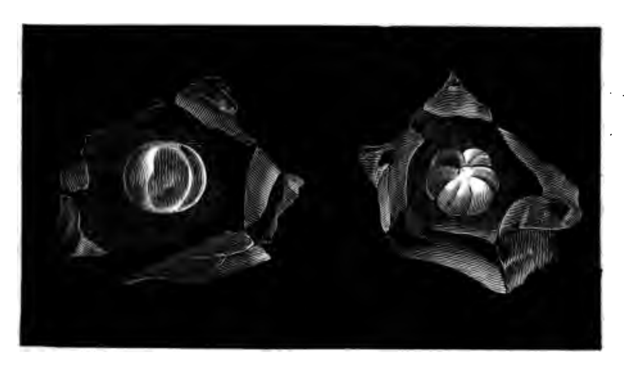


Fig. 6.

tout d'une dévitrification très-facile. Cette circonstance oblige à travailler ces sortes de verres aussi rapidement que possible; autrement, avant que le souffleur ait utilisé toute la matière fondue dans son

creuset, le verre perd une partie de sa transparence; il devient *galeux;* dans cet état, il est impossible de le travailler. On trouve très-souvent dans le fond des creusets des portions de verre dévitrifié, tantôt opaque comme de la porcelaine, tantôt sous forme

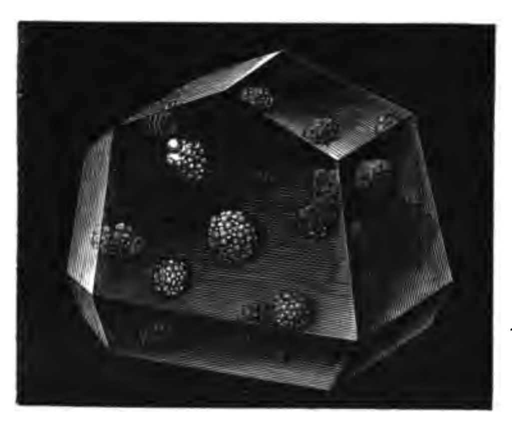


Fig. 7.

de mamelons opaques, emprisonnés dans la masse vitreuse, tantôt sous forme de prismes isolés ou réunis en étoiles.

Les figures 6 et 7 donnent la reproduction exacte du verre dévitrifié en mamelons.

On voit, d'après les considérations qui précèdent, que la question relative à la nature du verre dévitrifié était encore indécise il y a peu d'années; je crois qu'elle est désormais résolue par les expériences faites sur des échantillons beaucoup plus parfaits que ceux qui avaient été obtenus précédemment, échantillons qui m'ont été adressés par M. Videau, directeur d'une verrerie à bouteilles à Blanzy. Ces expériences sont décrites dans un travail *sur la cristalli-*

sation du verre lu en 1874 à l'Académie des sciences, travail que je me permets de reproduire ici :

« Il existe à Blanzy (Saône-et-Loire) une verrerie à bouteilles appartenant à M. Chagot, dans laquelle on a remplacé les creusets habituellement employés pour fondre le verre par un four à cuvette de grande dimension. Ce four a été construit par M. Videau, directeur de l'usine, avec le concours de M. Clémandot, ingénieur civil, dont le nom est bien connu de l'Académie : il est chauffé au gaz; il a 6m,50 de longueur sur 2 mètres de largeur; dans la cuvette, qui a 0m,45 de profondeur, on fond à chaque opération 12,000 kilogrammes de verre. Des ouvreaux, au nombre de douze, pratiqués dans ses parois, servent au cueillage du verre et au travail des ouvriers qui soufflent les bouteilles.

« Ce four ayant été mis hors feu, il y a quelques mois, par suite d'un de ces accidents qu'un appareil d'une construction aussi neuve et aussi hardie rend inévitables, M. Videau a fait tirer à la poche le verre resté encore fluide dans les parties déclives de la cuvette; ce travail a mis à découvert des géodes cristallines qui s'étaient formées pendant le refroidissement de la masse vitreuse. Ce sont ces cristaux que M. Videau, qui est un ancien élève de l'École Centrale, m'a envoyés, en y joignant des morceaux du verre transparent, de l'*eau-mère* qui les accompagnait et aussi des fragments d'une bouteille faite avec ce même verre dans les conditions normales ; il a pensé avec raison que l'examen de ces produits pourrait jeter quelque lumière sur le phénomène encore obscur de la dévitrification du verre.

« Les cristaux ont pris naissance d'abord aux angles du four, dont la corrosion par la matière vitreuse avait fait des points saillants; ils se sont ensuite développés sur toute la surface, en formant une croûte qui est restée solide après la décantation du verre à la poche. Ils diffèrent beaucoup, par leur aspect et par leur mode de formation, de tous les échantillons de verre dévitrifié que j'ai vus jusqu'à présent; ceux-ci

sont tantôt opaques, homogènes, ayant l'aspect d'une poterie : c'est la porcelaine de Réaumur; tantôt ils affectent la forme de prismes aiguillés ou de mamelons blancs emprisonnés dans le verre qui les a fournis, et dont il est impossible de les séparer complétement. Dans le remarquable échantillon que je mets sous les yeux de l'Académie (fig. 8), les cristaux sont

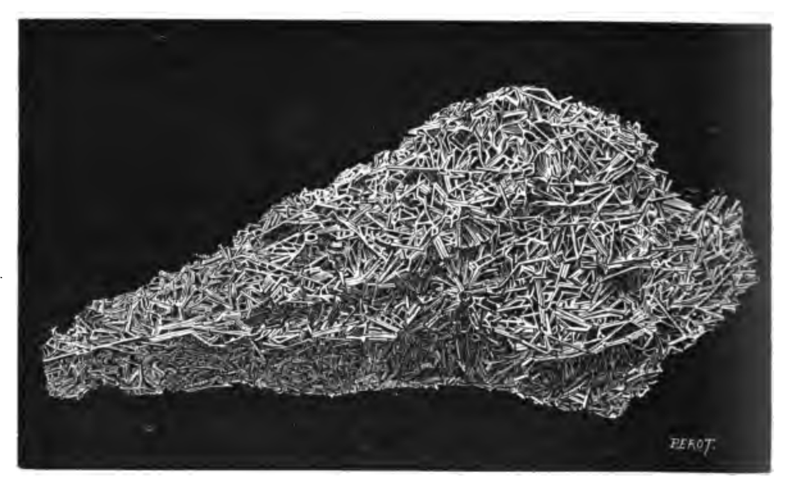


Fig. 8.

entièrement isolés, sans mélange de verre transparent; ce sont des prismes ayant quelquefois au delà de 20 à 30 millimètres de longueur. Ils se sont produits dans les mêmes conditions que les cristaux de soufre et de bismuth que nous séparons si facilement dans nos laboratoires d'avec la matière encore liquide dont ils proviennent; avec cette différence, toutefois, que celle-ci est de même nature que les cristaux fournis par ces deux corps, tandis que, pour le verre, c'est précisément cette question qu'il importe d'établir ou d'infirmer.

« On sait que depuis les premières expériences sur la dévitrification que Réaumur publiait en 1727, bien des travaux ont été faits sur ce curieux phénomène. Sans discuter de nouveau les expériences de Dartigues, de Pajot des Charmes, de Fleuriau de Bellevue, de Darcet, de Berzelius, de M. Dumas,

de M. Pelouze, de M. Bontemps, de M. Benrath et d'autres auteurs sur ce sujet, je rappellerai que deux opinions sont actuellement en présence pour expliquer la production du verre dévitrifié : l'une consiste à admettre que la dévitrification est due à un partage des éléments vitreux qui donne naissance à un silicate défini cristallisant au sein de la masse restante, celle-ci ayant, par conséquent, une composition qui n'est pas celle des cristaux; dans l'autre opinion, le verre dévitrifié est de même nature que le verre transparent; il est le résultat d'une simple modification physique, analogue à celle de l'acide arsénieux transparent qui devient opaque avec le temps. En constatant que le verre, en se dévitrifiant, ne change pas de poids, on a cru donner à cette interprétation des faits observés une valeur considérable.

« L'examen des trois produits vitreux de Blanzy ne confirme pas cette dernière opinion. Voici leur composition :

	I. Verre dévitrifié (en cristaux isolés).	II. Eau-mère (verre transparent dont les cristaux ont été séparés).	III. Verre normal (fragments de bouteille).
Silice	62,3	61,8	62,5
Chaux	22,7	21,5	21,3
Magnésie	8,4	5,4	5,6
Oxyde de fer	3,2	3,0	3,0
Alumine	2,5	2,1	2,1
Soude	0,9	6,2	5,5
	100,0	100,0	100,0

« Ces trois échantillons de verre, faits avec les mêmes matières employées dans les mêmes proportions, ne présentent, dans le rapport de leurs éléments, que des différences peu considérables; le verre normal et le verre n° II ont sensiblement la même composition, ainsi que cela pouvait être prévu, ce dernier étant en grande masse par rapport aux cristaux qu'on en a séparés.

« Le verre cristallisé diffère d'une manière plus sensible des deux autres produits. La magnésie s'y trouve en plus forte

proportion et la soude y fait presque défaut. Ainsi, conformément aux anciennes expériences de M. Dumas, le verre dévitrifié n'a pas la même composition que le verre transparent. A la vérité, les différences sont beaucoup moins considérables, ce qui tient peut-être à ce que la nature des verres de Blanzy se rapproche davantage de celle d'un silicate défini ; en outre, les verres étudiés par M. Dumas et plus tard par M. Le Blanc ne contenaient pas de magnésie. »

« Les cristaux que j'ai analysés ont été soumis à l'examen de M. Des Cloizeaux, qui n'a pas hésité à y reconnaître la forme du pyroxène, c'est-à-dire la forme du prisme oblique presque droit. Une analyse d'un verre cristallisé, faite par M. Lechartier, a été donnée par notre savant confrère dans son *Manuel de Minéralogie,* tome I, page 62. Ce produit, qu'il considère comme un diopside à base de soude, contient aussi de la magnésie ; son origine n'est pas indiquée ; sa composition est fort différente de celle du verre de Blanzy. Celui-ci ressemble davantage à un verre cristallisé que M. Terreil a examiné et qui provenait d'une verrerie à bouteilles de Clichy dans laquelle on faisait usage de calcaire dolomitique ; aussi M. Terreil le compare à un pyroxène dans lequel une partie de la magnésie se trouve remplacée par de la soude : ce verre contient, en effet, 9,1 pour 100 d'alcalis. Ce chimiste a analysé aussi le verre transparent qui accompagnait les cristaux ; il admet que, comme le verre cristallise complétement dans les creusets sans perte de matière, sa composition n'a pas changé en se dévitrifiant [1]. On sait que cette opinion est conforme à celle qui avait été adoptée antérieurement par Berzelius et par M. Pelouze : c'est aussi celle de M. Bontemps.

« M. Pelouze, auquel on doit un important travail sur cette question, tout en appuyant son opinion sur les nombreuses analyses qu'il a faites, ajoute :

« Mais, de toutes les expériences, la plus simple comme

1. *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences,* t. XLV, p. 693.

« la plus décisive, pour démontrer que la dévitrification con-
« siste en un simple changement physique du verre, consiste « à maintenir des plaques de verre posées sur la sole d'un « four à recuire jusqu'à ce que la vitrification soit complète, « ce qui a lieu après vingt-quatre ou au plus quarante-huit « heures. Leur poids reste constamment le même, et si l'on « opère sur un verre blanc de belle qualité, il est absolument « impossible de distinguer autre chose que des cristaux dans « la masse de verre dévitrifié [1]. »

« Lors de la lecture de ce travail à l'Académie, j'avais fait observer à notre regretté confrère qu'en admettant qu'il y ait eu, dans les plaques dont il vient d'être question, production d'un silicate défini, *celui-ci se trouvait emprisonné dans son eau-mère dans des conditions telles, que le poids et la composition de la masse ne pouvaient pas être changés.* Plusieurs faits me conduisaient à une conclusion toute différente de la sienne: j'avais depuis longtemps remarqué que le verre dévitrifié s'altère très-rapidement au contact de l'air; des bandes de verre à vitre à base de potasse, dévitrifiées dans un four à moufle, deviennent humides au bout d'un certain temps; placées dans une position convenablement inclinée, elles laissent suinter des gouttelettes alcalines de carbonate de potasse; celui-ci, recueilli dans une capsule, se transforme à la longue en bicarbonate cristallisé; un morceau de glace de Saint-Gobain dévitrifiée, qui m'a été donné par M. Pelouze, se recouvre rapidement d'efflorescences de carbonate de soude.

(Cette plaque a présenté une autre particularité que je tiens à signaler, bien qu'elle soit la conséquence d'un autre ordre de faits, d'un changement purement physique, qui tient probablement à sa texture fibreuse : c'est la faculté qu'elle a acquise de se courber à la longue sous son propre poids; placée par hasard en porte-à-faux dans le tiroir d'un meuble, elle s'est infléchie peu à peu, tandis qu'à l'origine, elle avait

1. *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences*, t. XL, p. 1321.

une planimétrie parfaite, ayant été dressée des deux côtés par les moyens ordinaires du travail des glaces).

« Ainsi, par les effets dus à l'action de l'acide carbonique et de l'humidité contenus dans l'air, la dissociation des éléments du verre est rendue évidente par l'excès d'alcali devenu soluble que renferme la partie restée vitreuse : c'est le complément des résultats fournis par l'examen des cristaux que, dans d'autres conditions, on peut en séparer. A la vérité, ce caractère ne se présente pas dans l'*eau mère* de Blanzy ; mais le verre normal ne contient lui-même qu'une très-minime proportion de soude ; si bien que j'ai douté de l'exactitude de mes analyses tant que je n'ai pas eu connaissance du dosage des matières premières employées dans cette usine : on n'introduit dans la *composition*, dont la fusion exige d'ailleurs une température fort élevée, qu'une très-petite quantité de sulfate de soude.

« Une autre épreuve peut être invoquée pour établir que le verre cristallisé n'est pas de même nature chimique que le verre ordinaire ; l'un fond à une température beaucoup plus élevée que l'autre. M. Clémandot a chauffé en même temps dans le four à cristal de MM. Maès, de Clichy, des fragments de verre cristallisé et, dans un autre creuset, des morceaux d'une bouteille de Blanzy ; tandis que la fusion des premiers est fort incomplète, le verre normal est devenu entièrement liquide. On a constaté, en outre, que, sous l'influence d'une haute température, les cristaux qui étaient opaques sont devenus transparents ; ils se rapprochent davantage, sous ce rapport, des pyroxènes naturels.

« Cette dernière expérience semble être en contradiction avec un fait constaté par M. Pelouze, à savoir qu'une plaque de glace après dévitrification présente la même fusibilité qu'avant ; mais ce désaccord n'est qu'apparent : dans cette plaque, les cristaux se trouvent encastrés dans un verre plus fusible, et le mélange doit présenter sensiblement le même degré de fusion que le verre ordinaire non dévitrifié.

« Bien que, dans la plupart des analyses des verres trans-

parents ou dévitrifiés, la magnésie ne soit pas mentionnée, sa présence, dans les verres d'une dévitrification facile, doit être prise en sérieuse considération, puisque le verre se transforme ainsi en un silicate analogue au pyroxène.

« On sait, en effet, que la magnésie se rencontre en quantité plus ou moins considérable dans tous les minéraux, si variés de nom, qui, au point de vue de la forme cristallographique, appartiennent à la famille des pyroxènes ou des amphiboles. Les minéralogistes ne s'accordent pas sur la composition de ces espèces minérales ni sur l'interprétation qu'il faut donner aux résultats de leur analyse. Dans les pyroxènes, le rapport de l'oxygène de la silice à l'oxygène des bases doit être comme 2 est à 1 ; mais il est souvent différent. L'alumine et le sesquioxyde de fer, que ces minéraux contiennent presque toujours en assez grande quantité, doivent-ils être considérés comme des corps accidentels, étrangers à la matière pure ou purifiée, ou bien sont-ils isomorphes avec la silice, ou bien encore doivent-ils concourir comme oxydes jouant le rôle de bases au rapport que l'on établit entre l'oxygène de ces corps et celui de la silice? Ces questions ne sont pas résolues; il n'entre nullement dans le plan que je me suis tracé de les discuter.

« Je rappellerai néanmoins que dans un remarquable travail, exécuté sous les yeux et avec les méthodes de M. Henri Sainte-Claire-Deville et publié dans les *Annales scientifiques de l'École normale supérieure*, t. I, p. 81, M. Lechartier a établi que, contrairement aux conclusions de M. Rammelsberg, l'amphibole et le pyroxène ont une composition différente; dans ce dernier minéral, le rapport de l'oxygène de l'acide et de l'oxygène des bases est de 2 à 1; il est de 9 à 4 pour l'amphibole.

« Le verre cristallisé de Blanzy est plus riche en silice : le rapport pour l'oxygène est sensiblement de 3 à 1 ; sa composition avec l'ancienne formule de la silice serait aussi simple que possible, c'est-à-dire SiO^3RO; RO est l'ensemble des oxydes que ce verre renferme. Avec la nouvelle formule on a

$3SiO^3, 2RO$. Ce verre contient à très-peu près 2 équivalents de chaux pour 1 équivalent de magnésie. Dans les pyroxènes ces rapports sont souvent inverses.

« Ces résultats ne sont qu'approximatifs, la soude, dont j'ai constaté la présence d'une manière certaine, l'alumine, l'oxyde de fer et une partie de la silice pouvant être considérés comme étant en dehors de la constitution du produit cristallisé, si l'on arrivait à l'obtenir dans un état complet de pureté.

« Je ferai une dernière remarque. Un silicate du groupe des pyroxènes, s'étant produit dans les conditions habituelles de la fusion d'un verre alcalin, n'est-il pas permis de se demander si, dans les analyses si nombreuses de ces espèces minérales, la recherche des alcalis, la potasse et la soude, n'a pas été un peu négligée? Si les pyroxènes et les amphiboles ont cristallisé, par voie de fusion ignée, dans des conditions analogues à celles du verre qui se dévitrifie, ces minéraux devaient être accompagnés de gangues plus ou moins riches en alcalis; de plus, les cristaux de ces mêmes substances doivent contenir encore des traces de leur eau-mère, indiquant ainsi leur mode de formation. Presque toutes les analyses de ces minéraux présentent des pertes qui sont attribuées à des substances non dosées, parmi lesquelles se trouvent peut-être les alcalis; il est également possible que ces pertes soient dues à l'emploi de procédés d'analyse incertains, d'une exécution toujours difficile.

« Je dois dire néanmoins que la présence des alcalis en très-petite quantité est quelquefois mentionnée : ainsi, dans la trémolite de Norvége, qui appartient au même groupe de minéraux, M. Lechartier indique l'existence de traces d'alcali; un échantillon non soumis aux procédés de purification qu'il décrit lui en donne 0,47 pour 100 ; dans la hornblende, qu'il considère comme un mélange d'amphibole et d'une matière étrangère, il en a trouvé jusqu'à 5,8 pour 100.

« Quelle est la nature exacte de cette matière étrangère? Les alcalis qu'elle renfermait à l'origine circulent-ils aujour-

d'hui sous forme soluble à la surface de la terre? Ces questions me semblent mériter l'attention des géologues. Lorsqu'on connaît, d'ailleurs, toutes les difficultés de ces analyses, surtout en ce qui concerne la recherche et le dosage de la soude, on n'est nullement surpris que ce dernier corps ait été rencontré dans des substances qui n'en contiennent pas, comme dans la plupart des cendres provenant de l'incinération des plantes, tandis qu'on en a méconnu la présence dans des minéraux qui n'en sont pas exempts.

« Je reviens à l'objet technique de cette étude. Je ne nie en aucune façon que tous les verres puissent se dévitrifier ; je suis même disposé à admettre que le verre translucide, dit d'*albâtre* ou *pâte de riz*, dont la formation n'est pas encore expliquée d'une façon satisfaisante, est le résultat d'une dévitrification qui commence; j'estime néanmoins que les verres riches en chaux et en magnésie sont ceux qui se décomposent le plus facilement. J'attribue surtout à la magnésie un rôle essentiel dans ce phénomène, cette base étant fournie par le sable ou par le calcaire dont on fait usage pour former le mélange à vitrifier. A Blanzy, le calcaire d'Auxey, qui entre dans la *composition* du verre qu'on y fabrique, ne contient pas moins de 20 pour 100 de carbonate de magnésie. Bien qu'infusible par elle-même, la magnésie concourt à la fusibilité des silicates qui composent le verre, cette fusibilité étant d'autant plus grande que les bases sont plus nombreuses ; mais il convient de faire cette remarque que si l'emploi de calcaires magnésiens est avantageux au point de vue de l'économie du combustible, il oblige à travailler le verre avec une grande rapidité, de manière à éviter qu'il commence à se dévitrifier, qu'il devienne *galeux,* par suite du pyroxène qui tend à se produire pendant la liquéfaction trop prolongée de la masse vitreuse. »

Action de la lumière sur les verres.

On rencontre souvent parmi les vitres des anciennes habitations des carreaux de verre ayant une

coloration jaune, rose ou violette ; il en est de même pour les glaces des devantures de magasin. Ces couleurs se sont produites peu à peu sous l'influence de la lumière.

Les verres à vitre, ceux notamment dont la couleur est un peu verdâtre, deviennent d'abord jaunes, puis prennent la teinte rosée et ensuite violette lorsqu'ils sont exposés au soleil pendant un an environ.

Cette action de la lumière sur les verres, signalée depuis longtemps par divers auteurs, a été l'objet d'études longues et patientes de la part de M. Gaffield, de Boston. Parmi les expériences exécutées par cet observateur, nous signalerons les suivantes :

Une bande de verre à glace, de fabrication anglaise, est coupée au diamant en douze parties égales, ayant chacune environ un décimètre de côté ; deux de ces parties sont conservées dans l'obscurité ; la feuille n° 1 est exposée au soleil pendant une semaine; la feuille n° 2 pendant deux semaines; la feuille n° 3 pendant quatre semaines et ainsi de suite en doublant ; en superposant ces morceaux de verre, après cette insolation graduée et inégale, on constate, en les examinant par la tranche, qu'ils offrent une gamme de coloration très-appréciable : le n° 1 est teinté en jaune, le n° 2 est un peu plus foncé ; puis viennent les colorations rosées de plus en plus marquées, jusqu'au n° 10, dont la teinte est la plus foncée.

Ainsi qu'il est facile de le prévoir, les verres colorés, jaunes, oranges, rouges, verts, entravent plus ou moins cette action de la lumière. Une étoile

blanche a été gravée sur un morceau de verre rouge à deux couches; la pellicule rouge a été enlevée partiellement à la roue, de manière à produire cette étoile au moyen du verre incolore se trouvant au-dessous; elle se détache, par conséquent, sur le fond rouge. M. Gaffield a placé cette feuille sur un carré de verre blanc ordinaire et il l'a soumise pendant deux ans à l'action de la lumière solaire. Ce verre, posé sur du papier blanc, laisse voir une étoile rose résultant de sa coloration par suite de cette insolation prolongée; le soleil n'a exercé aucune action pendant le même temps sur la portion du verre préservé par la couleur rouge.

Ces phénomènes ne sont pas dus à l'action de la chaleur : car les mêmes verres, chauffés à des températures égales ou plus élevées, ne subissent aucune espèce de changement.

On a cherché à expliquer cette action de la lumière en supposant que les verres qui jaunissent au soleil contiennent du sulfate de soude et du silicate de protoxyde de fer que la lumière transformerait en silicate de sesquioxyde qui est jaune et en sulfure de sodium; mais cette explication n'est guère admissible. Les glaces les plus blanches sont celles qui contiennent le plus de sulfate, le moins de fer, et ce sont aussi celles qui s'altèrent le plus à la lumière. En ayant égard à la couleur rose ou violacée que l'oxyde de manganèse donne aux matières vitrifiables et à l'emploi constant de ce corps, comme décolorant, dans toutes les compositions de verres à vitres ou à glaces, il me paraît difficile de ne pas attribuer

au manganèse un rôle, si mal connu qu'il soit encore, dans ce changement de couleur; la teinte verte du verre normal étant atténuée par la lumière, la couleur violacée due au manganèse devient prédominante.

Action de l'eau sur les verres.

Les verres sont des mélanges ou des combinaisons de deux silicates au moins : un silicate alcalin, et un silicate terreux ou plombeux. Le premier serait dissous ou attaqué par l'eau, s'il était seul; associé à l'autre, il n'est soluble qu'autant qu'il existe en quantité prédominante.

Tous les objets en verre qu'on fabrique aujourd'hui résistent à l'action de l'eau froide. Mais il n'en a pas toujours été ainsi. Il n'était pas rare de rencontrer autrefois des gobelets qui se ternissaient par suite de l'humidité qu'ils empruntaient à l'air, et même qui s'emplissaient, à la longue, d'une dissolution concentrée de carbonate de potasse; on sait que ce sel est très-avide d'eau et déliquescent. Ces verres étaient le résultat d'une fabrication défectueuse, dans laquelle, pour économiser le combustible, pour rendre le travail plus prompt et plus facile, ou par ignorance, on exagérait la dose de fondant alcalin.

Presque tous les objets en verre dont la fabrication remonte à une époque reculée ont subi, de la part du temps et de l'humidité, une altération très-marquée. Les lacrymatoires, les fioles, les urnes, tous les verres antiques qu'on trouve dans les tombeaux des anciens Romains et des Gaulois présentent un aspect

chatoyant, nacré, irisé, avec des reflets parfois très-vifs et très-brillants, comme ceux des bulles de savon ou des ailes de quelques espèces de papillons. Il en est de même des carreaux de vitre de fabrication plus moderne qui existent aux fenêtres des étables, des écuries, c'est-à-dire des locaux qui sont exposés tout à la fois à une humidité persistante et à une température assez élevée. Les écailles irisées qu'on en détache facilement par le plus léger frottement sont formées par un mélange de silice et de silicates terreux : le silicate alcalin a disparu. Ce dédoublement est analogue à celui qu'a subi le feldspath (silicate de potasse et d'alumine) lors de sa transformation en kaolin.

L'analyse suivante, faite par M. Hausmann, d'un verre antique dont une partie était encore intacte, tandis que l'autre, détachée par le frottement, était décomposée, établit clairement ce mode d'altération :

	Partie intacte.	Partie altérée.
Silice	59,2	48,8
Alumine	5,6	3,4
Chaux	7,0	11,3
Magnésie	1,0	6,8
Oxyde de fer	2,5	11,3
Soude	21,7	0,0
Potasse	3,0	0,0
Eau	0,0	19,3
	100,0	100,9

Les verres fabriqués en vue des besoins de l'optique, *le flint-glass* et *le crown-glass*, qui exigent une transparence et une limpidité exceptionnelles, con-

tiennent souvent une proportion exagérée d'alcalis qui les rend humides à la surface, et qui, à la longue, détruit leur transparence et amène l'altération des formes qu'ils ont reçues. Des disques de *crown-glass*, étant empilés, se soudent quelquefois très-solidement les uns aux autres par suite du silicate de potasse qu'ils renferment en trop grande quantité; ce sel attire l'humidité de l'air et détermine l'adhérence de ces objets.

Les glaces sont loin d'être toujours exemptes de cette cause d'altération. On en trouvait beaucoup dans le commerce, il y a une quinzaine d'années, qui se recouvraient de petits cristaux aiguillés de carbonate de soude; elles avaient l'inconvénient de *ressuer*. Les glaces anglaises qui figuraient à l'Exposition de Londres de 1851 offraient toutes ce défaut d'une manière très-marquée, malgré la précaution qu'on avait de les nettoyer fréquemment. Aujourd'hui même il est rare de rencontrer une glace qui, exposée longtemps dans un endroit humide, ne bleuit pas un papier rouge de tournesol qu'on promène mouillé sur sa surface.

Il convient d'ailleurs de faire cette remarque que, bien que les verres antiques présentent quelquefois la même composition que les verres qu'on fabrique actuellement, il n'en résulte pas que les matières premières employées pour les faire étaient, quant aux proportions, celles dont on se sert aujourd'hui. Les mauvais verres ont disparu sous l'influence destructive du temps; ceux qui ont résisté contenaient, d'une façon toute accidentelle, les éléments, notamment la chaux, qui ont assuré leur conservation. Jusqu'au

commencement de ce siècle, la plupart des *compositions* qu'on trouve dans les traités spéciaux ne sont formées que de sable et d'alcali (soude ou potasse). La connaissance plus exacte de la nature des fondants alcalins, et surtout la substitution des sels de soude fournis par le procédé de Leblanc aux soudes naturelles de composition très-variable qu'on employait sous les noms de *roquette*, de *soudes d'Espagne*, de *barille*, de *natron*, etc., ont beaucoup amélioré l'industrie verrière. Dans les anciennes formules, il n'est pas question de chaux, corps qui donne au verre sa solidité et son inaltérabilité relatives. La chaux se trouvait dans le sable ou dans le fondant alcalin, mais en quantité très-variable et trop petite le plus souvent pour donner de bons produits. Aussi l'altération de presque toutes les espèces de verre dont la fabrication remonte à deux ou trois siècles est évidente; c'est à cette cause qu'il faut attribuer la disparition à peu près complète des vitraux antérieurs au XIIe siècle; ceux des siècles suivants ont plus ou moins résisté et ont acquis par l'action du temps une sorte de patine qui ajoute, dans une certaine mesure, à leur valeur artistique.

L'action destructive de l'eau sur les verres, qui a été récemment l'objet des études de plusieurs chimistes, n'avait nullement échappé aux anciens observateurs : l'un d'eux, le plus célèbre, Bernard Palissy, en parle dans les termes suivants dans un livre publié en l'année 1563 :

« ... Tu ne dois donc pas trouuer estrange, si ie t'ay dit que les cailloux qui sont transparens comme

verres, sont congelez par le sel. Et quand à ce que ie t'ay dit, qu'aucunes pierres se consomment à l'humidité de l'air, ie te dis à présent, non-seulement les pierres, mais aussi le verre, auquel il y a une grande quantité de sel; et qu'ainsi ne soit, tu troueras ès temples de Poitou et de Bretagne, un nombre infini de vitres, qui sont incisées par le dehors, par l'iniure du temps; et les vitriers disent que la Lune a ce fait, mais ils me pardonneront: car c'est l'humidité des pluyes qui a fait dissoudre quelque partie du sel dudit verre [1]. »

Si l'eau froide a peu d'action sur les objets de gobeleterie qu'on fabrique aujourd'hui, il n'en est pas de même de l'eau bouillante. Les matras en verre dans lesquels nous faisons chauffer l'eau dans nos laboratoires se dépolissent assez rapidement, par suite de la dissolution partielle du silicate alcalin. Il y a moins d'un siècle, un chimiste ayant prétendu que l'eau, par une distillation répétée un grand nombre de fois, se changeait en terre, Lavoisier soumit à des distillations et à des condensations successives la même eau dans un alambic en verre; il constata, à la suite d'une expérience qui ne dura pas moins de cent et un jours, que ce vase avait perdu environ 1 gramme de son poids, et que le résidu fourni par l'évaporation de l'eau qu'il renfermait était fortement alcalin, par suite de l'altération que le verre avait subie. Malgré

1. *Récepte véritable par laquelle tous les hommes de la France pourront apprendre à multiplier et à augmenter leurs thrésors*, etc., par maistre Bernard Palissy, ouurier en terre et inuenteur des rustiques figulines du Roy. (Edition de Cap., p. 50).

les progrès réalisés dans l'art de la verrerie, si la même expérience était faite aujourd'hui, elle donnerait encore le même résultat.

Le verre en poudre est surtout très-facilement altéré par l'eau chaude. Dès l'année 1768, Cadet avait observé que les verres, alors même qu'ils sont de la meilleure qualité, sont décomposés par l'eau quand ils sont pris dans un grand état d'*atténuation*, c'est-à-dire réduits en poudre fine. Un chimiste anglais, Griffiths, a retiré 7 °/₀ de potasse d'un échantillon de cristal pulvérisé qu'il avait fait bouillir avec de l'eau pendant plusieurs semaines.

M. Pelouze a publié en 1856 un travail important sur ce sujet : il a montré que du verre blanc porphyrisé, formé pour 100 parties de :

Silice.	72
Soude.	12,5
Chaux.	15,5

perd 10 °/₀ de son poids, par suite d'une simple ébullition avec l'eau.

Un autre verre plus alcalin, renfermant :

Silice.	77,3
Soude.	16,3
Chaux.	6,4

a subi dans les mêmes conditions une altération si profonde, que 34 parties de ce verre sur 100 ont été détruites. M. Pelouze a obtenu ainsi une dissolution de silicate de soude et un mélange insoluble de silice et de verre non encore altéré.

Cette action dépend essentiellement des points de contact plus ou moins multipliés entre l'eau et le verre; ainsi, tandis que l'eau froide ou bouillante n'altère qu'avec lenteur les vases de verre, elle décompose très-facilement ce même verre, après qu'il a été réduit en poudre : une fiole d'un demi-litre de capacité a perdu à peine un décigramme, après qu'on y a fait bouillir de l'eau pendant cinq jours : en pulvérisant le col de cette même fiole et en faisant bouillir cette poudre dans le même vase pendant le même temps, celle-ci a subi une décomposition qui représentait le tiers de son poids. D'un autre côté, un flacon qui aurait contenu de l'eau pendant des années sans éprouver une perte susceptible d'être accusée par la balance subit, étant pulvérisé, par le simple contact de l'eau froide pendant quelques minutes, une décomposition qui représente 2 à 3 °/ₒ de son poids.

Enfin, en chauffant sous pression, à une température de 300°, des tubes de verre en présence de l'eau, M. Daubrée a vu cette substance se transformer en une matière fibreuse, ayant la composition de la *wollastonite* (silicate de chaux).

Toutes les sortes de verres en poudre absorbent peu à peu l'acide carbonique de l'air et font effervescence quand on les met en contact avec un acide. Tous bleuissent, en poudre fine, le papier rouge de tournesol. Sous l'influence de l'humidité, le silicate alcalin, devenu libre, est décomposé par l'acide carbonique qu'il emprunte à l'air.

En contact avec une dissolution bouillante de

sulfate de chaux, les verres à glaces et à vitres donnent du sulfate de soude qui se dissout et du silicate de chaux (M. Pelouze).

Action des acides et des alcalis.

Les verres qui sont attaqués par l'eau sont à plus forte raison attaqués par les acides, même par les acides faibles et dilués.

Le verre pulvérisé est très-altérable par son contact avec l'acide chlorhydrique étendu d'eau, à chaud et même à la température ordinaire. Il en est de même du cristal en poudre qui donne immédiatement une liqueur qui, contenant du plomb, noircit par l'addition de l'acide sulfhydrique (M. Pelouze).

Parmi les différentes espèces de verre, le verre à bouteille est celui qui résiste le moins à l'action des acides. La nécessité de le produire au meilleur marché possible oblige à y introduire une forte proportion de bases; aussi la plupart des bouteilles sont attaquées par les acides. Introduisez de l'acide sulfurique concentré dans une bouteille ordinaire, et après un temps plus ou moins long, vous verrez souvent s'y développer des concrétions mamelonnées de sulfate de chaux, en même temps que l'alumine, le fer et l'alcali du verre se dissoudront dans l'acide, et que la silice se déposera sous forme de gelée. Peu de bouteilles d'ancienne fabrication résistent à cette épreuve; beaucoup sont attaquées par les acides minéraux concentrés et résistent à l'action des acides dilués. On en rencontre même que le bitartrate de

potasse contenu dans le vin attaque d'une manière sensible. La silice et le tartrate de chaux se déposent et le vin prend en même temps une saveur d'encre marquée, par suite de la dissolution de l'alumine et du fer : aussi le vin se trouble et se décolore.

Quand la qualité de la bouteille est meilleure, ces effets se produisent encore à la longue, et je suis disposé à croire que les modifications que le vin subit quand on le conserve longtemps en bouteille, quand il vieillit, quand il se dépouille, ne sont pas étrangères, dans beaucoup de cas, à la nature de la bouteille elle-même. Ainsi la décoloration plus ou moins rapide du vin serait due, maintes fois, à la production d'une sorte de laque fournie par la silice gélatineuse et la matière colorante du vin. La faculté bien connue qu'ont certains vins blancs de noircir, quand ils séjournent, même pendant peu d'instants, dans le verre à boire, pourrait être attribuée à une cause analogue; en effet, les vins blancs contiennent du tannin, et sous l'influence d'une petite quantité de fer empruntée à la bouteille, ils se coloreraient au contact de l'oxygène de l'air par suite de la production d'une trace de tannate de peroxyde de fer, qui est, comme on sait, le principe colorant de l'encre à écrire. Dans la bouteille bouchée, le vin ne noircit pas, parce que le sel de fer reste, dans une atmosphère privée d'oxygène, à l'état de tannate de protoxyde. Ceci n'est d'ailleurs qu'une présomption qui aurait besoin d'être appuyée par des expériences directes.

Quoi qu'il en soit à cet égard, certaines bouteilles sont très-rapidement attaquées par toutes les

liqueurs acides. J'ai eu occasion d'examiner, il y a une vingtaine d'années, des bouteilles à vin de Champagne, en apparence d'une bonne fabrication, mais en réalité tellement mauvaises que le vin s'y altérait profondément au bout de quelques jours : de l'eau contenant seulement 4 °/₀ d'acide sulfurique y produisait du jour au lendemain une épaisse croûte de sulfate de chaux cristallisé et une dissolution de sulfates de fer, d'alumine et de potasse. Cet examen était fait à l'occasion d'une discussion entre un fabricant de vin de Champagne se plaignant des bouteilles qu'on lui livrait et un fabricant de bouteilles qui attribuait à la mauvaise nature du vin l'altération que le liquide de son client subissait si rapidement dans les vases qu'il lui avait fournis.

Ce verre, dont j'ai conservé un échantillon très-altéré, est ainsi composé :

Silice.	54,56
Chaux	18,20
Alumine	10,43
Protoxyde de fer	1,86
Magnésie.	0,51
Potasse.	1,37
Soude	13,07
	100,00

La forte proportion de ces bases multiples explique l'action énergique que les acides les plus faibles exercent sur ce verre.

Les objets fabriqués en cristal résistent assez bien à l'action de l'eau et des acides; mais les dissolutions fortement alcalines qu'on conserve dans

des flacons de cristal leur empruntent de l'oxyde de plomb; les sulfures alcalins y donnent toujours à la longue un dépôt noir de sulfure de plomb. On sait dans tous les laboratoires de chimie avec quelle rapidité se soudent les bouchons rodés à l'émeri des flacons dans lesquels on a mis des dissolutions de potasse ou de soude caustique. Cet effet est dû à la formation d'un silicate soluble alcalin, qui jouit de propriétés adhésives très-marquées.

Obligés de conserver leurs réactifs dans des vases en verre, les chimistes doivent choisir de préférence des flacons en verre peu fusible et exempt de plomb, ainsi que M. Chevreul leur en a depuis longtemps donné le conseil : ils doivent, de plus, porter constamment leur attention sur les matières qui peuvent être empruntées aux vases par les dissolutions dont ils font usage, de manière à ne pas confondre ces substances avec celles dont ils cherchent à constater la présence.

Action de l'acide fluorhydrique sur le verre.

Gravure chimique. — L'acide fluorhydrique exerce sur les silicates une action spéciale qu'on met à profit pour la gravure sur verre. On l'emploie également pour faire, à l'aide de procédés aussi sûrs que faciles à exécuter, l'analyse des différentes sortes de verre.

Le procédé ordinaire pour préparer cet acide consiste à chauffer dans une cornue en plomb une partie de fluorure de calcium pulvérisé et trois parties et demie d'acide sulfurique concentré; l'acide fluorhy-

drique, condensé dans un récipient en plomb contenant une certaine quantité d'eau, est conservé dans une bouteille faite avec le même métal ou en gutta-percha. Le verre à graver reçoit sur une de ses faces un enduit de cire et d'essence de térébenthine, de vernis de graveur ou d'huile de lin siccative. On fait le dessin avec une pointe, comme pour la gravure à l'eau-forte; la transparence du vernis à l'huile de lin en permet facilement le décalquage. Le côté couvert de vernis étant entouré d'un bourrelet de cire, on fait mordre l'acide sur le verre pendant un temps plus ou moins long, selon la profondeur des tailles qu'on veut obtenir. Un lavage à l'eau, puis à l'essence ou à l'alcool, enlève la cire ou le vernis.

Comme l'acide n'attaque que les parties qui ont été dénudées par le burin, le verre de couleur à deux couches permet de produire très-facilement des dessins blancs sur un fond coloré, lorsque ce fond a été protégé par une réserve.

Jusque dans ces derniers temps, la gravure était faite dans les verreries au moyen de meules verticales mues par le pied de l'ouvrier. Ce genre de gravure, qui n'est qu'une sorte de taille, permet de faire des dessins présentant d'autant plus de relief et de modelé que le verre est plus creusé : c'est *la gravure artistique*. Aujourd'hui, l'industrie verrière est en possession d'un procédé, *la gravure chimique*, qui, par la rapidité de sa mise en œuvre, présente des ressources infinies pour la décoration d'une foule d'objets qui peuvent être livrés à très-bas prix; aussi

l'emploi de l'acide fluorhydrique pour graver le verre et les cristaux, longtemps confiné dans les laboratoires, est devenu une opération industrielle très-digne d'intérêt. C'est par ce mode de *gravure* qu'on décore aujourd'hui beaucoup de cristaux à Baccarat et à Saint-Louis.

On doit à M. Kessler les procédés d'impression et de décalque qui sont employés dans ces établissements, ainsi que la fabrication de l'acide fluorhydrique par des procédés plus pratiques que ceux dont on se servait jusqu'alors. MM. Tessié du Motay et Maréchal ont aussi fait usage de cet acide dans la célèbre manufacture de vitraux de M. Maréchal, de Metz.

MM. Dopter, A. Gugnon et Bitterlin produisent des glaces et des verres gravés fort employés pour la décoration des devantures de magasins, des cafés, des établissements de bouillon; on s'en sert pour les fenêtres d'escaliers dans les habitations somptueuses, concurremment avec le verre émaillé, dit verre mousseline. Les plafonds lumineux des théâtres Lyrique, du Châtelet, de la Gaîté, etc. ont été exécutés par M. Bitterlin.

Pour produire industriellement l'acide fluorhydrique, M. Kessler a substitué à la cornue en plomb des laboratoires un cylindre horizontal en fonte dans lequel on introduit le fluorure de calcium en poudre et l'acide sulfurique. On détermine la densité de l'acide sulfurique au moyen d'un aréomètre en platine. 100 kilogrammes de spath-fluor et 80 kilogrammes d'acide sulfurique concentré produisent 50 à 55 kilogrammes d'acide à 40°. L'acide fluorhydrique

qui se dégage est condensé dans des récipients en plomb, et expédié dans des vases en gutta-percha. M. Kessler emploie aussi, pour le transport de cet acide, des vases spéciaux composés de deux tonneaux en bois goudronnés, séparés l'un de l'autre par un intervalle dans lequel on coule du bitume.

A Saint-Louis, on prépare l'acide qu'on consomme en quantité assez considérable (environ 400 kilogrammes par mois) au moyen d'une cornue en fonte dont la construction est due à M. Tessié du Motay. Je dois à l'obligeance de M. Didierjean le dessin de cet appareil (fig. 9).

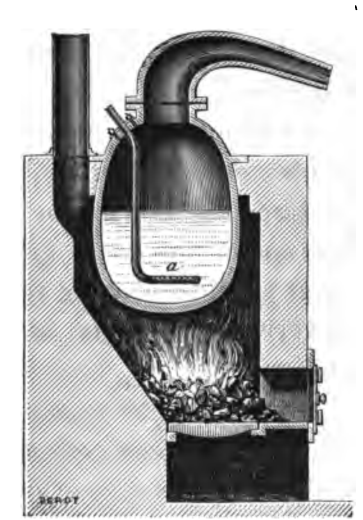


Fig. 9.

La cornue est chargée avec un mélange pâteux composé de 100 parties de fluorure de calcium pulvérisé, de 170 de sulfate de chaux et de 200 d'acide sulfurique à 60° Beaumé. On chauffe jusqu'à ce qu'on ait atteint progressivement la température du rouge sombre. L'acide est condensé au moyen d'un serpentin en plomb entouré d'eau froide et conservé dans des vases de plomb ou de gutta-percha. Lorsque la distillation est terminée, on laisse refroidir l'appareil et on y fait passer un courant de vapeur par le tube en fer *a* pour chasser les vapeurs acides qui restent encore dans la cornue.

Le chapiteau étant enlevé, on retire à la pelle la pâte qui reste au fond de la cucurbite. Le sulfate de chaux a pour effet de préserver la cornue d'une altération trop rapide.

L'acide qu'on prépare ainsi marque 20° au pèse-acide : il contient environ 400 grammes d'acide fluorhydrique par litre. Pour la gravure mate, on emploie une dissolution de fluorure de sodium légèrement acidulée.

Le procédé de décalque de M. Kessler a permis d'exécuter la gravure chimique à un prix très-réduit. On imprime un dessin sur une feuille de papier mince avec une encre grasse ; cette feuille est mouillée et appliquée sur le verre à graver; l'encre adhère au verre et le papier se détache avec une extrême facilité [1].

Le procédé se compose de trois parties principales : 1° de la confection de la planche d'impression ; 2° de la fabrication et de l'emploi de l'encre ; 3° du décalque de l'épreuve. La morsure à l'acide n'offre rien de particulier.

Un dessin est fait sur une pierre lithographique avec du bitume dissous dans l'essence de térébenthine; on verse sur cette pierre de l'acide chlorhydrique qui la creuse partout où elle n'est pas couverte de cette réserve. Lorsque la morsure est suffisamment profonde, ayant 0,5 à 0,75 de millimètre, on nettoie la pierre à l'essence. L'encre avec laquelle on imprime, après avoir été étendue sur la

1. Turgan, *Grandes Usines,* cristallerie de Baccarat, t. III, p. 309.

pierre, doit pouvoir être coupée par la racle sans laisser des bavures qui saliraient les reliefs. Elle est composée de trois parties de bitume, deux parties d'acide stéarique, et trois parties d'essence de térébenthine. Elle est faite à chaud, en remuant sans cesse, afin de troubler la cristallisation de l'acide stéarique.

Le dessin est imprimé sur un papier pelure glacé qu'on étend sur la pierre; toute la surface de celle-ci a été préalablement couverte avec l'encre, puis raclée de manière à découvrir les parties planes et à laisser les parties creuses bien remplies. Sur la feuille de papier, on pose une feuille de caoutchouc vulcanisé, puis plusieurs doubles de flanelle. La pression est donnée comme dans les presses lithographiques ordinaires; puis l'épreuve est détachée avec soin, plongée pendant quelques instants dans de l'eau froide contenant un quart ou un sixième d'acide chlorhydrique; quand elle est imbibée, on la passe rapidement à la surface d'un bain d'eau tiède, de manière à ramollir l'encre et à rompre son adhérence au papier.

Pour décalquer, l'épreuve étant appliquée du côté imprimé sur la pièce de verre, on enlève le papier. La morsure au moyen de l'acide fluorhydrique se fait quelques heures après, lorsque l'encre est redevenue bien solide; les parties où le verre est à nu sont seules attaquées: après cette opération, la réserve est enlevée soit par le frottement, soit avec des essences.

En se servant de planches de métal gravées en taille-douce ou de clichés galvanoplastiques analogues aux clichés d'impression, on obtient des dessins plus fins qu'avec la pierre lithographique.

La morsure du verre se produit dans des cuves en gutta-percha qui résistent parfaitement à l'action de l'acide fluorydrique. Pour les objets plats, on les laisse séjourner dans l'acide pendant un temps plus ou moins long, en les retirant de temps à autre pour constater l'action plus ou moins profonde du liquide corrosif; les pièces creuses, telles que les verres à boire, les globes de lampe, les vases, etc., sont bouchées avec une ou deux pièces de bois arrondies, de diamètre convenable pour clore l'ouverture; elles sont fixées au moyen d'un mélange de trois parties de résine, deux parties de cire jaune, une partie de suif et une partie de poix noire; *c'est la cire à border* qu'on prépare en fondant ces matières et qu'on applique comme lut avec les doigts enduits de suif. Chaque pièce de bois est munie à son centre d'une tige qui lui sert de pivot et qui permet, au moyen de poulies et par des transmissions de mouvement, de donner au verre plongé dans le bain acide un mouvement lent de rotation, continué pendant deux ou trois heures, la pièce étant maintenue dans une position oblique.

Les objets en verre gravés offrent des dessins mats ou transparents; dans l'origine, les effets du mat ou du dépoli n'étaient produits que par les anciens procédés de la gravure du verre, c'est-à-dire par la roue de tailleur. M. Kessler est arrivé à obtenir la gravure mate en substituant à l'acide fluorhydrique un mélange de fluorure de potassium ou de sodium et d'acide chlorhydrique ou d'acide acétique très-dilué. On se sert même aujourd'hui

dans ce but de ce dernier acide et du fluorure de calcium artificiel.

Pour la gravure mate, on ne fait pas tourner les pièces dans le bain acidulé : c'est, en effet, d'après M. Kessler, le dépôt de cristaux plus ou moins volumineux de fluosilicates alcalins qui, produisant des interstices, est la cause de la corrosion inégale de la surface du verre; ces cristaux disparaissent ensuite par le lavage. De même que dans la gravure au moyen du sable, cette succession de petits points en relief et en creux produit le mat.

Ainsi qu'on le fait depuis longtemps pour les verres à vitre plaqués, c'est-à-dire formés d'une double couche, l'une incolore, l'autre colorée, la gravure chimique se prête à la décoration des cristaux à deux, trois et quatre couches de verres de couleur superposées, en enlevant une couche par l'acide fluorhydrique et en respectant l'autre ou les autres. L'action plus ou moins prolongée de l'acide permet, en outre, en présence des parties réservées, d'obtenir des dégradations de teintes. Ce mode de décoration a beaucoup contribué à répandre le goût et l'usage des verres gravés dont le prix était fort élevé lorsque la gravure était faite exclusivement par des moyens mécaniques.

Un procédé qu'on doit à M. Dopter permet de reproduire fidèlement des dessins originaux, tels qu'ils ont été faits par la main de l'artiste; ces dessins, reportés sur la pierre lithographique, sont tirés à la manière ordinaire, à l'aide d'une encre composée de bitume et de cire.

Pour préparer une épreuve, on coule sur un papier *non collé* une substance de la nature du collodion; le côté du papier sur lequel cette substance est appliquée a été préalablement gommé; puis on transporte sur le collodion le dessin tiré sur papier avec l'encre bitumineuse dont il vient d'être question, l'impression étant appliquée sur la couche de collodion. Lorsqu'on plonge alors ce papier dans l'eau, la gomme se dissout et, par suite, le collodion se détache sous forme d'une pellicule très-mince qu'on transporte sur la glace à graver, de manière à ce que l'impression reste adhérente au verre.

Dans cet état, on détruit la pellicule de collodion au moyen de l'acide sulfurique concentré qui la désagrége, tandis que l'encre bitumineuse reste intacte; la glace est alors plongée dans une caisse en plomb contenant de l'acide fluorhydrique ou le mélange de fluorures alcalins et d'acide dont on fait usage pour la gravure mate : l'attaque du verre se fait dans toutes les parties non couvertes de cette encre. Comme le repérage est rendu facile par la transparence de la pellicule de collodion, on peut produire successivement plusieurs morsures et avoir des gravures dégradées à plusieurs teintes.

Ce procédé est très-rapide; un ouvrier peut, dans sa journée, produire 100 mètres superficiels de dessins gravés; un artiste, par les méthodes ordinaires, emploierait un ou deux mois pour faire un seul mètre du même travail.

Gravure du verre au moyen du sable.

Pour compléter l'énumération des procédés de gravure du verre, il convient de dire quelques mots d'un procédé purement mécanique qui consiste à le corroder en projetant du sable à sa surface au moyen d'un jet d'air ou de vapeur : le verre se trouve rapidement dépoli. Ce fait, observé récemment par un Américain, M. Tilghman, est mis à profit pour graver sur le verre ; il est vraisemblable qu'il se pliera à des usages variés et que plus tard il remplacera, en partie, la gravure à la roue ou même à l'acide fluorhydrique.

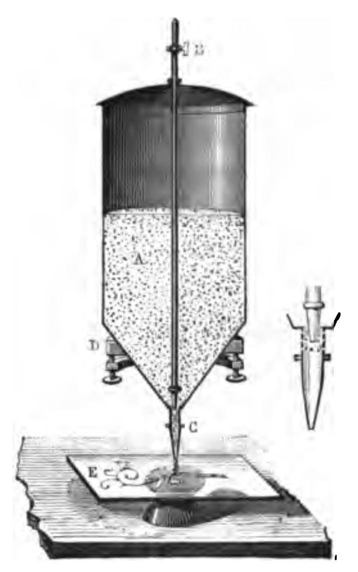


Fig. 10.

L'appareil dont on se sert à cet effet est très-simple : c'est une trémie (fig. 10) contenant du sable bien sec A, qui s'écoule d'une manière continue par un tube C dont on règle la longueur et l'inclinaison de manière à graduer à volonté la chute du sable : cet écoulement se fait par un tube étroit placé un peu au-dessous du tube qui amène le jet de vapeur ou le vent d'une machine soufflante. Des trous d'air, comme dans les trompes, sont pratiqués à une petite

distance du tube qui amène le vent. Le sable, entraîné violemment par ce jet, est projeté avec force sur le corps E qu'on soumet à son action. La figure 10 représente les dispositions d'un appareil construit par M. Hervé-Mangon.

En faisant varier la quantité de sable, le volume et la vitesse de l'air, ainsi que le diamètre du jet, on produit des effets plus ou moins rapides; il convient d'éviter les poussières fournies par cette opération en enfermant l'appareil dans une cage vitrée.

Des substances bien plus dures que le verre sont rapidement corrodées par le sable ainsi projeté à leur surface : dans les premières expériences faites à New-York, en employant une pression de 136 kilogrammes, on a percé en 25 minutes un trou de $0^m,032$ de diamètre dans un bloc de corindon ; avec une pression de 45 kilogrammes, en 3 minutes, un trou de $0^m,032$ de diamètre et de $0^m,008$ de profondeur a été fait dans une lime d'acier. Le poids d'un diamant a été sensiblement diminué en une minute et une topaze a été détruite.

Pour le verre, il faut peu de pression : le soufflet d'une lampe d'émailleur suffit, et on peut facilement graver, dans les laboratoires, les divisions des tubes gradués, les étiquettes des flacons, etc. Quelques minutes suffisent pour dépolir une plaque de verre de 2 décimètres carrés.

Les parties du verre qui doivent rester intactes sont recouvertes d'un patron en papier ou d'un vernis élastique qui forme les réserves.

Composition et analyse des différentes espèces de verres.

L'analyse des verres présente un grand intérêt; la connaissance de la nature et de la proportion de leurs éléments constituants permet de remonter à la cause de leurs qualités ou de leurs défauts : elle fournit au verrier un guide sûr pour fixer le poids relatif des substances dont il doit faire usage pour fabriquer une matière qu'il s'agit de reproduire ou d'améliorer.

La composition des silicates que la nature nous présente sous forme de minéraux si nombreux et si variés; celle des verres, des produits céramiques, des scories provenant des opérations métallurgiques, etc., ne peut être déterminée qu'en mettant en œuvre toutes les ressources de la chimie de précision. L'analyse d'un silicate est toujours une opération difficile; aussi, pour les minéraux comme pour les verres, il ne faut pas accepter sans réserve toutes les analyses publiées, alors même qu'elles ont été faites par des mains habiles et exercées. En dosant, par deux méthodes différentes, les éléments d'un échantillon donné, il est assez rare qu'on arrive à des résultats concordants, bien que l'une et l'autre de ces méthodes soit considérée comme bonne; j'ajoute que la même méthode ne donne pas toujours des résultats identiques quand elle est employée par deux opérateurs différents.

Pour donner les procédés servant à déterminer avec précision chacun des corps qui peuvent exister dans un produit vitreux, il faudrait entrer dans des

détails que comporte seul un traité complet de chimie analytique. Je dois donc me borner à indiquer les procédés de séparation des éléments principaux, de ceux qu'on rencontre habituellement dans les espèces de verres les plus usuelles.

Ces procédés peuvent se réduire à deux principaux :

1° Le verre est fondu avec du carbonate de soude, de chaux ou de baryte, de manière à devenir attaquable par les acides ;

2° Au moyen de l'acide fluorhydrique liquide, gazeux ou du fluorure à d'ammonium, on fait disparaître la silice qu'il contient ; les éléments qui restent sous forme de fluorures deviennent alors faciles à séparer les uns des autres.

Préparation mécanique de l'échantillon à analyser. — Quelle que soit la méthode employée, le silicate doit être préalablement réduit en poudre fine. Dans ce but, l'échantillon est d'abord concassé dans du papier; ses fragments sont introduits dans la cavité d'un petit mortier en acier poli dans laquelle entre à frottement libre un cylindre du même métal. En frappant sur cette tige à petits coups de marteau, la matière s'écrase et se pulvérise : c'est avec ce même *mortier d'Abich* qu'on réduit en poudre toutes les substances minérales dures et cassantes. Un mortier en porcelaine ou en agate pourrait introduire dans le produit à analyser une certaine quantité de silice étrangère à l'échantillon.

La matière, réduite en morceaux plus ou moins fins, est passée au tamis de soie; ce qui reste sur le

tamis est soumis à une nouvelle pulvérisation dans le mortier d'acier. Mais dans cette opération, un peu du fer est enlevé au mortier; aussi est-on obligé de promener dans cette poudre un aimant qui enlève les parcelles métalliques qu'elle peut renfermer : comme cette séparation n'est pas complète, quand il s'agit de silicates naturels inattaquables par les acides, on met cette poudre en contact, pendant quelques heures, avec de l'acide chlorhydrique étendu de beaucoup d'eau, en opérant à froid; elle est ensuite lavée, séchée à 150° environ et conservée dans un flacon sec bouché à l'émeri. Pour les verres qui sont plus ou moins riches en bases terreuses et alcalines, ce contact avec l'eau acidulée doit être évité : nous avons vu, en effet, que, réduits en poudre, ils sont le plus souvent attaqués, même à froid, par l'eau et par les acides dilués. Dans tous les cas, il est nécessaire de s'assurer que le liquide de lavage, qu'on évapore à siccité, n'a rien emprunté au silicate, en dehors de la petite quantité de fer qu'il doit dissoudre.

Si le verre est analysé dans le but de connaître la quantité de fer qu'il contient, le mortier servant à le pulvériser doit être en agate ou en porcelaine, malgré l'inconvénient qu'il peut présenter d'ajouter au produit à analyser une petite quantité de sa propre substance.

Dans la plupart des cas, la pulvérisation du verre dans des doubles de papier et le tamisage doivent être employés de préférence, pourvu qu'on prenne soin de chauffer ensuite cette poudre au rouge

pendant quelques instants dans le but de brûler les fibres de papier qu'elle a entraînées. Le tamisage devient même inutile quand le verre est analysé par la méthode suivante :

Attaque par le carbonate de soude. — Ce sel est préparé en desséchant dans un creuset de platine des cristaux de soude purs (carbonate de soude hydraté); après dessiccation, il est chauffé au rouge vif de manière à subir la fusion ignée.

On mélange dans un creuset de platine un à deux grammes de verre avec trois fois son poids de carbonate fondu, réduit en poudre. Le mélange est chauffé au rouge vif et maintenu pendant une demi-heure à l'état liquide. Après refroidissement, le creuset et son couvercle sont placés dans une capsule de porcelaine avec de l'eau et de l'acide chlorhydrique pur ; comme la matière se dissout avec effervescence, la capsule doit être recouverte avec un entonnoir en verre qui repose sur le bord intérieur de la capsule, dans le but d'éviter la perte qui résulterait de la projection de gouttelettes en dehors de la capsule. Quand la matière n'est plus adhérente au creuset, celui-ci est enlevé et lavé avec de l'eau au-dessus de la capsule; puis on évapore à siccité au bain de sable, en évitant soigneusement les soubresauts et les projections. Le résidu, devenu parfaitement sec et pulvérulent, est repris par l'acide chlorhydrique concentré et soumis à une nouvelle dessiccation ; il est ensuite traité à chaud par l'eau acidulée qui dissout les oxydes et qui laisse,

sous forme d'une poudre blanche, toute *la silice* du verre; celle-ci est recueillie sur un filtre, bien lavée, séchée à l'étuve, puis calcinée dans un creuset de platine muni de son couvercle; on l'a séparée, autant que possible, du papier du filtre, qu'on brûle ensuite au contact de l'air, de manière à avoir un produit bien blanc : on la pèse aussitôt que le creuset est froid. Du poids de ce résidu, on déduit celui des cendres du filtre qu'on a déterminées préalablement.

L'évaporation à siccité de la liqueur acide se fait difficilement sans soubresauts et, par conséquent, sans perte : on évite les projections de matière en opérant comme il suit : dans le creuset de platine qui renferme le verre attaqué par le carbonate de soude, on verse 15 à 20 centimètres cubes d'acide chlorhydrique concentré; en chauffant très-légèrement, l'attaque se fait avec lenteur, de proche en proche, dans le creuset muni de son couvercle. Au bout de quelques heures, le produit est transformé en une sorte de bouillie claire dont on décante la partie liquide; celle-ci est évaporée à siccité à une température très-ménagée : d'autre part, la matière qui reste est chauffée au bain de sable dans le creuset même. Quand elle est sèche, on la traite par l'eau acidulée qu'on verse dans la capsule renfermant le premier résidu. On peut même évaporer, dans le creuset, sans décantation préalable, la matière traitée par l'acide chlorhydrique.

Les verres ordinaires étant à base de chaux, de soude ou de potasse, la dissolution renferme ces corps sous forme de chlorures, ainsi que le fer, le

manganèse, l'alumine, et la magnésie qui existent ou qui peuvent exister dans ces produits.

Dosage du fer, du manganèse et de l'alumine. — On ajoute à la dissolution chaude, à peu près neutralisée par l'ammoniaque, du sulfure d'ammonium en léger excès. Le précipité qui se produit, et qu'on sépare *rapidement* par filtration, contient le fer et le manganèse sous forme de sulfures et l'alumine à l'état d'hydrate; après qu'il a été convenablement lavé sur le filtre et bien séché, on le soumet à la calcination et on le pèse : puis il est redissous dans l'acide chlorhydrique ; la liqueur, qu'on a fait bouillir avec une petite quantité d'acide azotique pour peroxyder le fer, est versée dans une dissolution chaude de potasse caustique pure employée en excès. *Les oxydes de fer et de manganèse* sont séparés d'avec l'alumine qui reste dans la dissolution. Ces oxydes, après un lavage prolongé au moyen de l'eau bouillante, sont calcinés de nouveau : En déduisant leur poids de celui du mélange précédent, on a, par différence, la proportion d'*alumine* contenue dans le verre. On peut, d'ailleurs, doser ce corps directement en sursaturant la liqueur alcaline par l'acide chlorhydrique et en en séparant l'alumine par le sulfure d'ammonium. Enfin, en dissolvant ces oxydes dans l'acide chlorhydrique et en ajoutant à la liqueur neutralisée du succinate d'ammoniaque, on précipite le fer et on conserve le manganèse dans la dissolution. La calcination du succinate de fer donne ce métal sous forme de sesquioxyde. On a le manganèse par différence.

La dissolution, dont on a séparé par le sulfure d'ammonium ces corps (oxydes de fer, de manganèse et d'aluminium) (qu'on ne dose isolément d'ailleurs que dans des cas spéciaux, attendu que dans les verres autres que les verres à bouteilles, ils n'existent qu'en très-petite proportion), est soumise à l'ébullition pour chasser l'excès de sulfure d'ammonium; puis elle est mise en contact avec quelques grammes d'oxalate d'ammoniaque cristallisé : au bout de cinq à six heures, on recueille sur un filtre l'oxalate de chaux qu'on calcine fortement dans un creuset de platine muni de son couvercle. *La chaux* est pesée à l'état de chaux vive, aussitôt après le refroidissement du creuset. Elle a presque toujours une couleur brune, en raison d'une petite quantité d'oxyde de manganèse que le sulfure d'ammonium n'a pas séparé.

Il convient de s'assurer que la calcination de l'oxalate de chaux a été faite à une température suffisamment élevée pour avoir la chaux vive, sans mélange de carbonate et aussi de sulfate qui pourrait provenir d'un peu de soufre fourni par le sulfure d'ammonium. A cet effet, on fait tomber dans le creuset une ou deux gouttes d'eau : si la chaux est bien caustique, la température s'élève notablement : cette matière doit ensuite se dissoudre sans effervescence dans quelques gouttes d'acide azotique.

Dans le cas ou une effervescence se serait produite, on évapore à siccité l'azotate de chaux et on calcine de nouveau plus fortement; ou bien, ce qui est préférable, on ajoute quelques gouttes d'acide

sulfurique, on calcine au rouge et on dose la chaux à l'état de sulfate.

Dosage de la magnésie. — La liqueur dont la chaux a été séparée ayant un volume assez considérable, en raison des eaux de lavage de l'oxalate de chaux, est concentrée de manière à ce que son volume soit réduit à 50 ou 80 centimètres cubes : Quand elle est froide, on y ajoute de l'ammoniaque et du phosphate de soude. Après 24 heures, le phosphate ammoniaco-magnésien est recueilli sur un filtre, lavé à froid avec de l'eau ammoniacale et calciné, après dessiccation, dans un vase de platine ouvert; le résidu blanc est le phosphate de magnésie bibasique :

$$2\,MgO, Ph\,O^5$$

contenant 35,7 de magnésie. Ce corps n'existe que rarement dans les verres autres que les verres à bouteilles.

En suivant cette méthode, les alcalis, la soude ou la potasse, ou bien ces deux corps, lorsqu'ils sont réunis dans le même verre, sont dosés par différence.

Dosage des alcalis. — Pour les avoir directement, on remplace le carbonate de soude par le carbonate de baryte : ce dernier sel doit être pur; il a été préparé en traitant le chlorure ou l'azotate de baryum par le carbonate d'ammoniaque employé en excès; le précipité est ensuite bien lavé et calciné à une température peu élevée.

Pour une partie de verre on emploie six parties

de carbonate de baryte : le mélange est chauffé dans le creuset de platine à la température du rouge blanc. Le traitement dans l'acide chlorhydrique se fait ainsi qu'il a été indiqué ci-dessus. Après avoir pesé la silice, on reconnaît parfois, lorsqu'on la frotte sur un corps dur avec un pilon d'agate, qu'elle contient encore du verre inattaqué : dans ce cas, une nouvelle attaque par le carbonate de baryte devient nécessaire; on pèse de nouveau la silice, après traitement par l'acide chlorhydrique et on réunit la dissolution à celle qui a été obtenue précédemment.

La liqueur chlorhydrique est sursaturée avec le carbonate d'ammoniaque pur qui précipite la baryte, la chaux, l'alumine et les oxydes de fer et de manganèse. On fait bouillir la liqueur filtrée et on la concentre de manière à séparer sous forme de composés insolubles toutes les bases terreuses; après nouvelle filtration, la liqueur est traitée par de l'acide chlorhydrique employé en léger excès; elle est évaporée à siccité et le résidu est chauffé au rouge jusqu'à ce que les vapeurs de sel ammoniac aient cessé de se produire. La potasse ou la soude restent sous forme de chlorures. Si le verre est à base de soude ou bien à base de potasse, on pèse ces corps sous forme de sel marin ou de chlorure de potassium.

On peut avoir à effectuer la séparation de ces deux bases lorsqu'elles se trouvent l'une et l'autre dans un verre. Étant donné le mélange des deux chlorures, quelques décigrammes de ces sels sont dissous dans une petite capsule de porcelaine à bec,

préalablement tarée. On ajoute à la dissolution du chlorure de platine en léger excès, de manière à ce qu'elle présente une couleur jaune orangé : après évaporation à siccité au bain-marie, le résidu, humecté avec un peu d'eau, est délayé à froid dans l'alcool absolu; le chlorure de platine en excès se trouve mélangé avec les sels doubles qu'il forme en s'unissant au sel marin et au chlorure de potassium : ce dernier composé est le seul qui soit insoluble dans l'alcool. La capsule est laissée pendant quelques heures sous une cloche contenant de l'air séché par de la chaux vive; la liqueur, devenue parfaitement limpide, qui se trouve au-dessus du composé double potassique, est décantée et le chlorure de platine et de potassium est lavé à deux ou trois reprises avec de l'alcool concentré renfermant environ un cinquième de son volume d'éther. Le précipité jaune cristallin, préalablement desséché au bain-marie, est pesé dans la capsule. Son poids, multiplié par 0,193, donne la quantité de potasse que représente le mélange des chlorures employés. Ce même poids, multiplié par 0,3054, fournit le chlorure de potassium et, par différence, le sel marin; au moyen des équivalents, on en déduit la soude qui, dans le verre analysé, se trouvait associée à la potasse.

Pour les verres à base de plomb (cristal, flint-glass, stras), les procédés qui viennent d'être indiqués subissent plusieurs modifications. Après que le verre a été fondu avec deux à trois fois son poids de carbonate de soude, le résidu est traité par l'*acide azotique* pur, étendu de plusieurs fois son volume

d'eau. L'acide chlorhydrique produirait, en effet, du chlorure de plomb très-peu soluble, lequel resterait mélangé avec la silice et empêcherait la dissolution complète des bases. Après évaporation à siccité, le résidu est repris par l'eau bouillante. La silice, recueillie sur le filtre, est lavée et calcinée ; on fait passer dans la liqueur un courant de gaz sulfhydrique ; le sulfure noir de plomb qui se précipite est recueilli, lavé, séché et pesé sur un filtre préalablement taré avec un autre filtre.

Dans la liqueur filtrée, on peut doser la chaux, les oxydes de fer et de manganèse et l'alumine que le même verre peut contenir, en suivant les procédés qui ont été indiqués précédemment. Quant à la potasse, elle ne peut être dosée qu'autant que le cristal a été attaqué par le carbonate de baryte. Le produit de cette attaque est traité par l'acide azotique ; la baryte, le plomb et la chaux sont précipités par l'acide oxalique, sous forme d'oxalates insolubles, dans la liqueur préalablement neutralisée par l'ammoniaque. La dissolution filtrée est évaporée en présence de l'acide sulfurique et la potasse est pesée à l'état de sulfate neutre.

M. H. de Fontenay a indiqué un procédé qui permet d'analyser rapidement et avec une exactitude suffisante les diverses sortes de verres.

Le verre en poudre est mélangé avec une fois et demie à deux fois son poids de minium dans un creuset de platine qu'on chauffe au rouge, en évitant le contact des gaz réducteurs de la flamme avec l'oxyde de plomb. La fusion se fait facilement. On

plonge l'extérieur du creuset encore chaud dans une capsule pleine d'eau froide et on en détache le culot de verre basique, facilement attaquable par l'acide azotique. Après avoir évaporé à siccité au bain-marie et avoir laissé séjourner la capsule sur le bain longtemps encore après complète dessiccation, on reprend par l'eau et quelques gouttes d'acide et on filtre. La silice est soigneusement lavée à l'eau bouillante et pesée. On dose à la manière ordinaire dans la liqueur filtrée l'alumine, le fer, la chaux et les alcalis, après s'être débarrassé préalablement du plomb par un courant d'acide sulfhydrique.

Pour doser par ce procédé le plomb contenu dans le cristal, il faut connaître exactement le poids et la composition du minium qu'on a ajouté. On arriverait probablement à des résultats aussi satisfaisants en remplaçant l'oxyde de plomb par l'azotate de ce métal préalablement desséché.

Les procédés basés sur l'emploi de l'acide fluorhydrique ou du fluorure d'ammonium donnent aussi d'une façon très-sûre la quantité d'alcalis que renferment les verres.

Attaque des silicates par le carbonate de chaux. — Ce procédé, qu'on doit à M. Henri Sainte-Claire Deville, donne des résultats très-exacts.

Le silicate en poudre fine est pesé dans un très-petit creuset de platine, de la dimension d'un dé à coudre et du poids de 5 à 6 grammes : on le mélange soigneusement avec du carbonate de chaux bien pur, qu'on a préparé en décomposant l'azo-

tate de cette base par le carbonate d'ammoniaque. Pour 1 gramme de verre, on emploie 0,5 à 1 gramme de sel calcaire. Le creuset est placé dans un autre creuset en terre réfractaire, après avoir été pesé de nouveau, afin d'avoir le poids exact du carbonate de chaux ajouté.

On calcine à une température modérée d'abord, puis élevée jusqu'au rouge blanc; une bonne forge, ou mieux le chalumeau à gaz de M. Schlœsing produisent cette température, qui est voisine de celle de la fusion du platine.

La matière fondue doit être limpide et d'un aspect homogène; son poids, si l'opération a été bien faite, est celui du verre et de la chaux provenant de la décomposition du carbonate calcaire ajouté. Au moyen d'une faible pression exercée par les doigts à l'extérieur du creuset, le bouton vitreux se détache; il est très-cassant, et on le pulvérise grossièrement dans une capsule de platine tarée : on en pèse un certain poids qu'on traite à froid par l'acide azotique pur, employé en léger excès, en ayant soin d'agiter constamment avec une petite spatule en platine, afin d'empêcher la poudre de s'agglutiner. La matière se prend rapidement en une sorte de gélée transparente et homogène; elle est chauffée à l'étuve *jusqu'à ce qu'il ne se dégage plus de vapeurs acides* et le résidu est mis en contact avec une dissolution concentrée et chaude d'azotate d'ammoniaque; il est lavé à plusieurs reprises et évaporé jusqu'à disparition complète de toute odeur ammoniacale.

On obtient ainsi : 1° un résidu A formé par la

silice, l'alumine, le fer et le manganèse; 2° une dissolution B qui renferme, sous forme d'azotates, la potasse, la soude, la chaux et la magnésie.

Le résidu A est mis en contact à chaud avec de l'acide azotique : la silice reste seule à l'état insoluble; elle est lavée, calcinée au rouge et pesée dans la capsule de platine. Si elle est colorée, on la traite par l'acide sulfurique et par un mélange d'acides azotique et oxalique; l'alumine, le fer et le manganèse sont dissous et séparés par filtration d'avec la silice : celle-ci doit être parfaitement blanche et disparaître entièrement quand on la traite par l'acide fluorhydrique pur [1].

La liqueur séparée de la silice contient l'alumine, les oxydes de fer et de manganèse : elle est évaporée à siccité, et le résidu, après avoir été pesé, est mis en contact par une dissolution chaude de potasse caustique qui dissout l'alumine et laisse les deux oxydes; on les sépare par le succinate d'ammoniaque, ainsi qu'il a été indiqué ci-dessus.

1. On prépare l'acide fluorhydrique *pur* en décomposant par la chaleur du fluorhydrate de fluorure de potassium; c'est une opération coûteuse, en raison de la nécessité d'effectuer la distillation de ce sel dans un petit alambic en platine. J'ai simplifié cette préparation de la manière suivante : on met dans un vase en plomb de l'acide fluorhydrique ordinaire, qu'on trouve maintenant dans le commerce à un prix très-peu élevé; cet appareil est fermé par un couvercle en plomb; avant d'introduire l'acide dans le vase découvert, on a placé sur un support en plomb une capsule de platine contenant de l'eau distillée; le vase étant muni de son couvercle, sous l'influence de la chaleur, et même à froid au bout de quelques jours, lorsque l'acide est bien fumant, on obtient dans la capsule de platine de l'acide fluorhydrique parfaitement pur.

On arrive à une séparation plus exacte en suivant la méthode indiquée par M. H. Sainte-Claire Deville : le mélange des trois oxydes est introduit dans une nacelle de platine tarée qu'on glisse dans un tube de porcelaine étroit, ou mieux, dans un tube de platine; un courant d'hydrogène réduit le sesquioxyde de fer et fait passer le sesquioxyde de manganèse à l'état de protoxyde; le gaz chlorhydrique sépare ensuite ces deux métaux à l'état de chlorures volatils : l'alumine reste seule dans la nacelle.

Un autre procédé consiste à dissoudre ces oxydes, qu'on a pesés, dans l'acide sulfurique; en traitant par le zinc, on fait passer le fer à l'état de sel de protoxyde; au moyen d'une dissolution titrée très-étendue de permanganate de potasse, on dose le fer par le procédé Margueritte. L'alumine et le manganèse sont dosés par différence.

La dissolution B est mise en contact à froid avec des cristaux d'oxalate d'ammoniaque pur employé en léger excès : au bout de huit à dix heures, la précipitation de la chaux étant complète, on calcine l'oxalate calcaire, et la chaux est dosée à l'état caustique.

La liqueur filtrée contient la magnésie et les alcalis; elle est évaporée à siccité et le résidu est calciné de manière à décomposer les produits ammoniacaux qu'elle renferme. Après addition d'acide oxalique pur dissous dans l'eau, on calcine de nouveau : en traitant le résidu par l'eau, la potasse et la soude sont séparés sous forme de carbonates solubles, tandis que la magnésie reste à l'état de

carbonate qu'on chauffe fortement de manière à peser cette terre à l'état de magnésie caustique.

Enfin les carbonates de potasse et de soude sont transformés en chlorures; leur séparation et leur dosage se fait au moyen du chlorure de platine, en suivant les prescriptions qui ont été données précédemment.

Analyse des verres par l'acide fluorhydrique. — Nous avons vu que la silice libre ou combinée, mise en contact avec cet acide, est transformée en fluorure de silicium gazeux, tandis que l'hydrogène de l'acide donne de l'eau en se combinant avec l'oxygène de la silice; en conséquence, un verre traité par l'acide fluorhydrique perd tout le silicium qu'il renferme tandis que les autres éléments sont transformés en fluorures; ceux-ci, en contact avec l'acide sulfurique, deviennent des sulfates qui sont, pour la plupart, solubles dans l'eau : il devient alors facile de séparer, par les procédés ordinaires de l'analyse, les bases qu'ils renferment.

On pèse dans une ou dans plusieurs capsules de platine tarées quelques grammes de verre en poudre; on ajoute un peu d'eau en agitant le mélange avec une petite spatule de platine qui fait partie de la tare de la capsule; celle-ci est placée dans un vase en plomb repoussé, sans soudure, à fond plat, ayant environ 15 centimètres de profondeur et 20 centimètres de diamètre. Au fond du vase on a étendu une couche de fluorure de calcium pulvérisé mouillée avec de l'acide sulfurique concentré, de manière à produire

une bouillie claire; c'est ce mélange qui fournit l'acide fluorhydrique. Il peut être remplacé par l'acide fumant du commerce. Sur ce fond se trouvent plusieurs supports en plomb qui sont des bouts de tuyaux coupés ayant environ 4 centimètres de hauteur. Les capsules de platine dans lesquelles le verre a été pesé reposent sur ces supports.

Le vase est fermé avec un couvercle en plomb à bords rabattus, percé de petites ouvertures pour le dégagement des produits gazeux; il est chauffé légèrement sur un bain de sable; cette opération doit être faite en plein air, ou tout au moins sous une hotte bien ventilée; d'une part, à cause des dangers que présente l'acide fluorhydrique, qui, en contact avec nos organes, produit de graves brûlures; d'autre part, parce que cet acide détériore les vitrages et tous les objets en verre qui se trouvent dans le laboratoire.

Au bout de quelques heures, on laisse refroidir l'appareil, et, après l'avoir ouvert, on remue la matière qui se trouve dans la capsule avec la spatule de platine, tenue à distance avec une pince en fer; il est facile de reconnaître au frottement et au bruit que produit cette spatule si le verre a été complétement attaqué; dans le cas où l'action n'aurait pas été complète, le couvercle est remis et le vase de plomb chauffé de nouveau.

La matière est ensuite mise en contact avec 1 ou 2 centimètres cubes d'acide sulfurique; elle est chauffée avec précaution, de manière à compléter l'action, en transformant en sulfates les fluorures ainsi pro-

duits. Le résidu est repris par l'eau qu'on emploie en assez grande quantité pour dissoudre le sulfate de chaux qui a pris naissance si le verre est à base calcaire; la séparation de l'alumine, du fer, de la chaux, de la magnésie, des alcalis, s'exécute par les procédés précédemment décrits; la silice est obtenue par différence, ou bien elle a été dosée directement, dans une autre opération, en attaquant le même silicate par le carbonate de soude.

Pour le cristal et les autres verres à base de plomb, l'eau, après le traitement des fluorures par l'acide sulfurique, laisse à l'état insoluble le sulfate de plomb : ce corps est recueilli sur un filtre qu'on brûle dans une petite capsule de porcelaine, et qu'on pèse après addition d'une ou deux gouttes d'acide azotique, puis d'acide sulfurique. Ce dosage n'est pas très-exact, attendu que le sulfate de plomb n'est pas absolument insoluble dans l'eau.

On peut également faire l'analyse du verre par l'acide fluorhydrique en produisant ce corps dans un petit alambic en plomb et en le dirigeant à l'état gazeux dans un creuset de platine contenant le verre humecté qu'on remue de temps à autre à distance avec une spatule ou un gros fil de platine aplati; un bout de tube de ce dernier métal, entrant à frottement dans un tube en plomb, amène le gaz dans le creuset.

Enfin, on peut faire usage du fluorure d'ammonium, composé solide, qu'on obtient en saturant par

l'ammoniaque l'acide fluorhydrique *pur*[1] et en évaporant la dissolution à une température peu élevée dans un vase de platine. En mélangeant le verre en poudre avec six fois son poids de ce sel et en chauffant dans une capsule de platine jusqu'à ce que les vapeurs blanches cessent de se produire, la silice disparaît; le résidu est traité par l'acide sulfurique. Les bases, ainsi amenées à l'état de sulfates, sont séparées par les procédés qui ont été indiqués précédemment.

Le fluorure d'ammonium cristallisé, attaquant les vases de verre, doit être conservé dans des vases en platine; on peut se servir aussi de flacons de verre enduits à l'intérieur d'une couche mince de collodion qu'on fait sécher d'abord à l'air puis à l'étuve; des flacons ainsi préparés résistent pendant plusieurs semaines à l'action décomposante exercée par ce sel.

Les verres pour lesquels on a fait usage du sulfate de soude comme matière première (verres à glaces, à vitre, à bouteilles, etc.) contiennent presque toujours une quantité notable de sulfate non décomposé; on retrouve aussi ce corps, souvent en quantité plus considérable, dans diverses variétés du verre dit *pâte de riz*. Pour reconnaître et pour doser l'acide sulfurique, voici comment on procède : le verre est fondu

1. En sursaturant par l'ammoniaque l'acide fluorhydrique obtenu par le procédé indiqué dans la note ci-dessus (page 86), il se fait quelquefois un précipité de silice en gelée provenant du fluorure de silicium que renferme l'acide du commerce; on le sépare par la filtration dans un entonnoir en gutta percha ou en verre recouvert à l'intérieur d'une couche sèche de collodion.

avec du carbonate de soude *pur*, bien exempt lui-même de sulfate; après séparation de la silice par l'acide chlorhydrique également pur, on verse dans la liqueur filtrée, qu'on a étendue de beaucoup d'eau dans un grand verre à pied, quelques gouttes d'une dissolution de chlorure de baryum. Il se fait un précipité plus ou moins abondant de sulfate de baryte; au bout de vingt-quatre heures, ce sel, déposé au fond du verre, est recueilli sur un filtre, lavé d'abord avec de l'eau faiblement acidulée par l'acide chlorhydrique, puis avec de l'eau pure; après avoir mis à part, sur une carte lisse, la poudre blanche préalablement séchée qu'il renferme, le filtre est brûlé dans une capsule tarée de porcelaine ou de platine; on ajoute aux cendres une goutte d'acide sulfurique et on chauffe de nouveau; puis le sulfate de baryte laissé sur la carte est calciné dans la même capsule. Son poids donne celui de l'acide sulfurique que le verre contient à l'état de sulfate de soude ou de potasse.

CHAPITRE DEUXIÈME.

Fabrication de la poterie : des pots ou creusets pour fondre le verre et des briques servant à la construction des fours.

Les matières premières qui par leur combinaison produisent le verre sont amenées à l'état de fusion dans de grands creusets en terre réfractaire. La bonne qualité de ces creusets est d'une si grande importance, que la plupart des verreries ne s'en rapportent qu'à elles-mêmes pour les soins très-minutieux qu'exige la fabrication de leur poterie; cette fabrication, selon qu'elle est bonne ou qu'elle est mauvaise, assure ou compromet la prospérité de l'établissement.

Les creusets de verrerie doivent supporter pendant plusieurs semaines une température très-élevée sans se déformer, sans se fendre, sans se vitrifier. Cette température, mesurée au moyen du pyromètre thermo-électrique, n'est pas moindre de 1,000 à 1,200°; le verre de Bohême est liquide à 1,050°; le cristal à 925°; à l'état pâteux qui convient pour le travailler, il est à la température de 770° environ.

Les briques servant à la construction des fours

exigent les mêmes soins; elles sont faites également dans la verrerie, avec la forme qu'elles doivent avoir d'après la position qu'elles occuperont dans le four.

Pour fabriquer ces creusets et ces briques, on fait choix des *argiles* les plus réfractaires, exemptes, autant que possible, de fer, de chaux, de magnésie et d'alcalis. Les argiles sont, comme on sait, des mélanges ou des combinaisons de silice et d'alumine; elles renferment, en outre, des proportions variables de ces diverses bases, lesquelles ont une grande influence sur leurs propriétés et sur leurs emplois.

En France, on emploie depuis longtemps l'argile plastique de Forges-les-Eaux (Seine-Inférieure) ou des localités environnantes, notamment de Guy Saint-Fiacre. Sa composition peut être représentée par la formule :

$$9SiO^2,2Al^2O^3$$

soit 72,3 de silice et 27,7 d'alumine; mais elle contient toujours un peu de fer, de chaux, d'alcalis et de magnésie.

L'argile d'Andennes, des environs de Namur, est généralement employée en Belgique. C'est une terre d'une qualité très-supérieure, recherchée également en France et en Prusse.

Les Anglais se servent de l'argile de Stourbridge; cette terre, bien que réfractaire, contient une notable quantité de fer qui contribue peut-être à donner à leurs glaces et à leurs verres à vitre une teinte verte assez prononcée.

En Allemagne on emploie, outre les terres d'An-

dennes, celles de Klingenberg et du Palatinat; ces dernières sont inférieures aux terres de Forges.

Le tableau qui suit donne la composition des argiles réfractaires les plus usitées en verrerie, déduction faite de l'eau qui a disparu par la calcination.

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.
Silice	71,6	64,2	71,7	57,4	68,0
Alumine	26,0	32,2	22,3	38,0	29,0
Oxyde de fer . . .	1,2	2,4	4,5	1,8	0,2
Chaux.	0,1	»	0,5	1,8	»
Alcalis.	1,1	1,2	(non dosés)	1,0	0,8
	100,0	100,0	99,0	100,0	98,0

N° 1. Terre de Forges (Seine-Inférieure).
N° 2. — d'Andennes (Belgique).
N° 3. — de Stourbridge (Angleterre).
N° 4. — de Klingenberg sur le Meiu (Basse-Franconie).
N° 5. — d'un creuset de verrerie de Bohême.

Toutes les argiles, réfractaires ou non, contiennent, en dehors de l'eau interposée, 6 à 20 °/₀ d'eau combinée qu'on n'en sépare que par une calcination faite à une température rouge. La terre de Forges séchée à 100° retient encore 11 °/₀ d'eau; celle d'Andennes, 19 °/₀. Chauffées au rouge vif, elles subissent un retrait considérable qui oblige à les mélanger avec des argiles cuites (ciment), ayant déjà subi leur retrait, de manière à éviter les déformations, les fentes, les gerçures qui seraient la conséquence du changement de volume qu'elles éprouvent par la cuisson.

C'est à la présence de l'eau combinée avec le silicate d'alumine que les argiles doivent leur plasticité, c'est-à-dire la propriété de faire, en présence de l'eau ajoutée en quantité convenable, une pâte liante, qui s'étire et qui s'allonge sans se briser. Elles

contiennent presque toutes un mélange intime de sable quartzeux et, en outre, du fer oxydé ou sulfuré, de la chaux, de la magnésie et des matières organiques. D'après M. Richters, c'est la magnésie qui nuit le plus à la réfractibilité des argiles ; la chaux, l'oxyde de fer, les alcalis ont peu d'influence sur leur qualité, pourvu que la proportion de ces corps soit très-minime. Les alcalis témoignent de l'origine feldspathique de ces matières terreuses.

Les argiles réfractaires présentent de grandes différences dans leur composition et dans leur qualité; ces différences existent même pour celles qui proviennent de la même localité, de la même mine et de la même couche horizontale continue. Si l'analyse chimique est utile pour faire connaître les principes constituants d'une terre réfractaire, elle est absolument insuffisante pour fixer sa valeur industrielle; ce n'est que par des tâtonnements, en essayant les argiles seules ou mélangées, qu'on peut arriver à connaître cette valeur. Telle argile qui est médiocre étant employée seule devient bonne lorsqu'elle est additionnée d'une autre terre qui, prise isolément, fournirait de mauvais résultats.

Toutes les argiles renferment du fer à l'état de sulfure et souvent aussi à l'état de peroxyde. Le sulfure de fer s'y trouve sous forme de rognons dont la grosseur varie depuis celle d'un grain de sable jusqu'à la grosseur d'une noix; on cherche autant qu'on peut le faire à se débarrasser de ces pyrites en concassant la terre en petits morceaux et en opérant le triage à la main avec beaucoup de soin.

Lorsque le fer se trouve à l'état de peroxyde, ainsi que cela se présente parfois dans la terre de Forges, ce nettoyage devient plus difficile. Si la quantité de ce corps est notable, la cassure fraîche de l'argile le laisse voir sous forme de veines ocreuses. Dans ce cas, il ne faut pas hésiter à rejeter cette terre qui ne donnerait que des produits défectueux.

La terre de Forges, bien choisie, est la terre grasse par excellence, surtout quand on y mélange à l'état de ciment de la terre d'Andennes. Avec un peu d'habitude, on apprécie assez bien la qualité de la terre de Forges. Lorsque sa cassure est bien lisse, bien luisante, elle est généralement bonne. Quand, au contraire, la cassure est terne, arrachée, elle contient du fer peroxydé.

Les terres d'Andennes sont plus réfractaires que les terres de Forges : elles contiennent une certaine quantité de silice à l'état de sable très-fin disséminé dans l'argile. Elles réclament plus de soins et de précautions quand elles sont employées pour la confection des creusets. Pendant le séchage et le chauffage des produits fabriqués, les petits grains de sable se dilatent tandis que la terre qui les entoure prend du retrait : de là des gerçures qu'on n'évite qu'en prenant beaucoup de précautions. Mais les pots fabriqués avec un mélange de terre de Forges et d'Andennes supportent sans se déformer les plus hautes températures des fours de verrerie ; ils présentent un grain parfaitement net et homogène. Les creusets faits avec la terre de Forges employée sans

addition, placés dans les mêmes conditions de température, se ramollissent et se déforment par un séjour de 30 à 40 jours dans le four de fusion. Leur cassure présente l'aspect d'un commencement de vitrification; leur durée est moins grande que celle des pots faits avec les deux terres mélangées.

En partant de ces données, il semble qu'on pourrait chercher à mélanger à la terre de Forges du sable très-fin, au lieu d'une terre plus siliceuse; mais, pratiquement, le mélange du sable dans la terre qui doit servir à la confection des creusets ne donne que de mauvais résultats.

En France, pour le verre fin et pour le cristal, ce sont les terres de Forges, seules ou mélangées, qu'on emploie. Pour les glaces, les terres d'Andennes sont préférées; les cuvettes (creusets) fabriquées avec ces dernières, résistent mieux aux changements brusques de température et donnent, paraît-il, moins de *larmes* et de *nœuds*.

Nous avons dit que pour parer au retrait considérable que toutes les argiles subissent à la cuisson, l'argile crue est toujours mélangée avec de l'argile cuite qu'on désigne habituellement sous le nom de *ciment*. On y ajoute une petite quantité d'*écailles de pots;* ce sont des débris de creusets soigneusement débarrassés du verre qui y reste adhérent.

Voici la composition de deux de ces mélanges :

1° *Pour creusets :*

100	parties	d'argile grasse de Forges.
100	—	de ciment.
10	—	d'écailles de pots pulvérisés.

2° *Pour cuvettes :*

350 kilogrammes de terre d'Andennes grasse.
260 — — calcinée.
100 — d'écailles de pots.

Ces matières, humectées avec de l'eau, sont transformées en une pâte homogène, dans un pétrissoir mécanique. Le mélange est ensuite *marché,* ainsi qu'on le fait pour la plupart des pâtes céramiques. Un homme marche, dans sa journée, la quantité de terre nécessaire pour faire un pot, soit environ 300 kilogrammes. On fait avec cette terre des blocs qu'on laisse pourrir pendant quelques semaines dans un local humide. Cette opération donne à la matière une plus grande plasticité.

Fabrication des pots, ou creusets.

Les creusets qui servent à fondre le verre ont une forme et une dimension variables. Ils sont

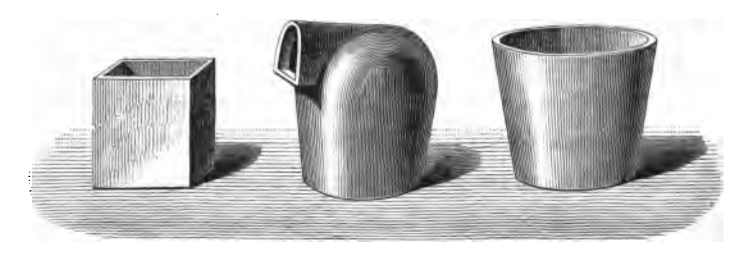


Fig. 11.

ronds, ovales, rectangulaires; pour le cristal fait à la houille, ils sont couverts et présentent la forme d'une cornue à col très-court; leur hauteur varie entre 0,50 centimètres et 1 mètre. Quand ils sont

cuits, leurs parois latérales ont 5 à 7 centimètres d'épaisseur; le fond 10 centimètres. Les grands creusets contiennent ordinairement 5 à 600 kilogrammes de verre fondu (fig. 11).

La confection de ces creusets est très-minutieuse. Ils se font à la main, avec ou sans moule extérieur, par la superposition de petits cylindres de pâte argileuse qu'on appelle *pastons* ou *colombins*. Le plus souvent on se sert d'une cuve en bois avec fond mobile, tapissée intérieurement d'une toile mouillée. Les colombins, préparés d'avance et aplatis d'un côté, sont appliqués sur la toile les uns contre les autres, en commençant par le milieu du fond, de manière à former une surface continue. On les monte ainsi, en amorçant et en grattant pour souder la terre, qui doit être aussi dure que possible, jusqu'à ce qu'on soit arrivé à la partie supérieure du moule. Quand le creuset est terminé, on le bat intérieurement avec une molette de marbre ou de bois, dans un local un peu chaud. Au bout de quelques jours, on renverse le moule, qu'on enlève ainsi que la toile, et on répare soigneusement les défauts que le creuset peut avoir à l'extérieur. On le retourne et on le laisse sécher pendant quatre à huit mois dans une pièce chauffée à 30 à 40°. Enfin il est cuit graduellement jusqu'au rouge avant d'être introduit sur la banquette du four de fusion, à la place du creuset hors de service qu'il doit remplacer.

Dans quelques verreries, les pots sont faits dans des moules à charnières (fig. 12) ; dans d'autres on les façonne par la superposition des colombins, sans

le secours du moule. Ce travail exige des ouvriers très-habiles; mais il donne des vases d'une pâte plus homogène et d'un plus long usage.

Un potier et deux aides font trois à quatre pots par semaine. La durée de ces pots est de un, deux, rarement de trois mois.


Fig. 12.

Pour le cristal fait à la houille, on emploie des pots couverts, dont on termine la confection sans moule. On y introduit, avant de faire le dôme, le *cercle* d'argile dont nous indiquerons plus loin l'utilité.

Briques pour la construction des fours.

Un four de verrerie, une fois en feu, ne cesse d'être chauffé que lorsqu'il se trouve hors de service en raison des détériorations qu'il a subies. On le démolit entièrement pour le reconstruire à nouveau.

Les briques des fours ont, en conséquence, à supporter une température continue extrêmement élevée. Elles doivent être fabriquées avec le plus grand soin avec des terres bien choisies, particulièrement celles qui forment les voûtes et les arcades : il est de la plus haute importance d'éviter que la fusion de ces briques n'introduise des *larmes* dans les creusets.

C'est de la qualité de ces briques que dépend la durée plus ou moins longue du four et aussi sa bonne

marche. Tous les maîtres de verrerie savent par expérience qu'un four en bon état donne du meilleur verre qu'un four détérioré.

La terre réfractaire seule ne donnerait pas des briques assez résistantes; il faut y ajouter du sable blanc, très-pur. Les roches quartzeuses ou les cailloux roulés conviennent mieux pour cet usage que les sables employés dans la composition du verre. On enlève, au moyen de l'acide sulfurique étendu, le fer que ces produits contiennent souvent. A cet effet, après les avoir cassés en petits fragments, on les chauffe fortement dans un four à réverbère, puis on les fait tomber dans une auge remplie d'eau froide : en les *étonant* ainsi, ils deviennent friables et, passés à la meule, ils sont réduits en une poudre qui ne doit pas, néanmoins, être trop ténue. C'est dans cet état qu'on les fait chauffer pendant 12 à 15 heures avec de l'acide sulfurique dilué dans une caisse en fonte garnie de plomb. Ce sable, devenu parfaitement blanc, est lavé à grande eau et séché.

La quantité de quartz à mélanger varie suivant la position que les briques doivent occuper dans le four. Ainsi les briques de la voûte, qui sont exposées à une température extrêmement élevée, doivent contenir de 80 à 85 pour 100 de sable blanc très-pur. Dans les fours à pots découverts, si les briques de la voûte ne sont pas assez réfractaires, elles entrent peu à peu en fusion et donnent les *larmes* que les ouvriers rencontrent dans le verre.

Les briques des siéges qui sont exposées au contact du verre qui déborde pendant la fonte ou

qui coule lorsque les creusets viennent à casser, doivent contenir beaucoup moins de sable. Trop siliceuses, elles seraient rapidement rongées par le verre qui tombe presque constamment du creuset dans le four; formées au contraire par de l'argile presque pure, elles résistent mieux à l'action dissolvante des éléments basiques du verre, bien qu'elles soient moins réfractaires que celles qui contiennent beaucoup de silice.

Je dois ajouter que dans certains cas, par exemple lorsqu'on emploie les fours du système Siemens, il est très-important que le verre qui tombe sur le siége ne s'infiltre pas à travers les joints du massif de briques de manière à pénétrer dans les chambres dites *régénérateurs*. Des accidents de ce genre bouchent rapidement les intervalles des briques placées en quinconce dans ces appareils et obstruent le passage de l'air et des gaz. Si l'obstruction est partielle, le four marche mal; si elle est complète, il ne marche plus.

On évite ces accidents en réglant soigneusement la composition des briques formant le massif situé entre le siége et les régénérateurs, de telle façon que la dilatation du sable que contiennent ces briques soit supérieure au retrait que ces briques éprouvent. Dans ces conditions, les joints sont parfaitements bouchés et ils ne laissent aucun passage au verre.

Ce débordement du verre en fusion sur les siéges des fours Siemens oblige quelquefois à établir une chambre spéciale pour recevoir ce verre avec un

conduit qui débouche dans le siége et qui communique avec cette chambre.

La silice que l'on introduit dans les briques est souvent aussi du sable blanc de Champagne ou d'ailleurs, bien lavé et purifié au besoin, ainsi qu'il a été dit ci-dessus. Le principal inconvénient du sable est de donner des briques ayant peu de cohésion. En effet, chaque grain de sable est un petit galet à angles arrondis, et le défaut d'aspérités rend l'adhérence du sable et de la terre difficile à obtenir. Aussi, nous avons dit qu'il est préférable de choisir des cailloux bien blancs et de les piler. Avec cette poudre à angles vifs, on obtient, par son mélange avec la terre, des briques ayant beaucoup plus de cohésion.

Un mélange de cette nature pour briques de four peut être fait dans les proportions suivantes :

250	kilogrammes	de terre de Forges.
250	—	d'argile calcinée provenant d'anciennes voûtes de four.
100	—	de sable quartzeux purifié.

On fabrique en Angleterre, dans le pays de Galles, des briques fort recherchées qui sont faites avec du quartz aggloméré. La matière première se rencontre à Dinas, dans la vallée de Neath ; c'est du silex presque pur. La roche, réduite en poudre, est mélangée avec 1 °/₀ de chaux environ, et une quantité d'eau suffisante pour que la matière puisse s'agglutiner étant comprimée dans des moules en fer. On lui donne la forme de briques qu'on sèche et qu'on soumet à la cuisson à une température très-élevée :

elles sont de formes et de dimensions diverses, à la demande du constructeur du four. La chaux joue le rôle de flux à la surface des grains de quartz et détermine leur agglomération : ces briques se dilatent par la chaleur, tandis que les briques argileuses se contractent; elles présentent au feu une résistance considérable qui les fait préférer pour la construction des voûtes des appareils destinés à supporter de très-hautes températures.

Fours de fusion.

La chaleur qui se développe dans les fours à fondre et à travailler le verre doit être très-élevée et facile à régler. Quel que soit le système adopté, la flamme circule autour des pots, ceux-ci reposant sur les banquettes; la voûte du four est surbaissée de manière à profiter de la chaleur réfléchie.

La nécessité de réduire autant que possible le prix de revient du verre en diminuant la consommation du combustible, a conduit à des changements considérables dans l'aménagement de ces appareils de chauffage. C'est surtout sous ce rapport que de grands progrès se sont produits dans l'industrie du verre dans ces quinze dernières années : ces progrès n'ont point dit leur dernier mot, et divers systèmes, qui ne sont pas encore sortis de leur période d'essais, permettront sans doute de réaliser de nouvelles économies au point de vue de la consommation du combustible et de la rapidité du travail.

Les fours aujourd'hui en usage sont :

1° Les fours ordinaires;

2° Les fours du système Siemens;
3° Les fours du système Boétius;
4° Les fours à une seule cuvette.

Fours ordinaires.

Les fours ordinaires sont chauffés avec la houille ou avec le bois, le plus souvent aujourd'hui avec le combustible minéral. Quelque soit le combustible, les dispositions générales sont à peu près semblables; il en est de même pour les fours du système Siemens. Quant aux fours Boétius, ils sont construits pour l'emploi exclusif de la houille.

Les fours de fusion sont de forme circulaire, ovale on rectangulaire. Ils contiennent ordinairement de huit à douze creusets. Dans les fours ordinaires, se trouve une longue grille en contre-bas du sol. Le tirage se fait par des galeries souterraines qui se coupent à angle droit et qui amènent sous la grille l'air nécessaire à la combustion. Quelquefois le tirage est augmenté par un ventilateur auxiliaire.

Les dispositions de ces fours sont indiquées plus loin par les dessins concernant la fabrication des verres à vitres, des bouteilles, des glaces, du verre de Bohême, du cristal. On y voit que chaque pot se trouve en communication avec une ouverture, ménagée dans la paroi du four, qu'on bouche pendant la fonte. C'est par cette ouverture (l'*ouvreau*) qu'on introduit les matières premières, *la composition*, qu'on *cueille* le verre et qu'on réchauffe les pièces en cours de fabrication.

Fours de MM. Siemens.

Les fours à gaz du système Siemens mettent à profit deux principes :

1° On substitue à l'action directe du combustible celle des produits résultant de sa distillation; ces produits, véritables combustibles gazeux, sont l'oxyde de carbone, les carbures d'hydrogène et l'hydrogène. L'importance et les avantages de cette substitution ont été depuis longtemps établis par les célèbres travaux d'Ebelmen.

2° Ces gaz et l'air qui doit servir à leur combustion sont dirigés, *sans être mélangés*, dans deux chambres remplies de briques réfractaires à claire-voie, préalablement portées à la température rouge par la flamme sortant du four de verrerie; ils s'échauffent eux-mêmes, par conséquent, par leur contact avec ces briques. Ces chambres sont désignées sous le nom de *régénérateurs*.

En conséquence les deux masses gazeuses, après avoir traversé *séparément* de bas en haut ces chambres, sont conduites dans le four où elles se mélangent et se combinent, ajoutant à la chaleur qu'elles ont acquise déjà celle qui est due à l'action chimique.

La flamme, qui est la conséquence de cette action, prend naissance à une petite distance de la banquette sur laquelle reposent les creusets; elle traverse tout le four, y détermine les effets dûs à sa température très-élevée; puis, à sa sortie, elle pénètre dans deux autres régénérateurs en leur cédant la presque totalité de la chaleur qui lui reste :

les gaz de la combustion sortent par la cheminée considérablement refroidis.

Ainsi les deux régénérateurs *d'entrée* et les deux régénérateurs de *sortie* agissent en sens inverse : les

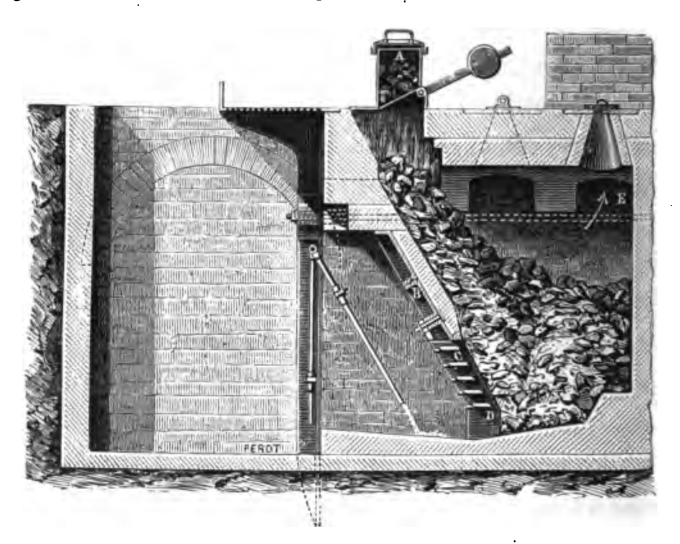


Fig. 13.

Légende.

Fig. 13. — Coupe verticale du générateur à gaz de C. W. Siemens.
A, ouverture pour charger la houille.
BC, massif incliné sur lequel glisse le combustible.
C, D, barreaux qui donnent accès à l'air.
En arrière de la grille se trouve un tuyau amenant l'eau qui, vaporisée, est décomposée par le combustible en ignition.
E, sortie des gaz : refroidis dans un long et large tuyau en tôle (*syphon*), ils arrivent par un conduit horizontal dans l'une des chambres remplies de briques à claire-voie qui sont au-dessous du four de fusion.

premiers sont traversés de bas en haut, l'un par les produits gazeux de la distillation, l'autre par l'air; ceux de sortie sont traversés de haut en bas par le mélange des gaz brûlés sortant du four; en conséquence, ces derniers cèdent aux briques des régéné-

rateurs la chaleur qu'ils doivent fournir à l'air et aux gaz non brûlés lors du passage de ceux-ci et de l'air en sens opposé. Au moyen de quatre valves d'entrée et de sortie, mûes à des intervalles réglés, toutes les demi-

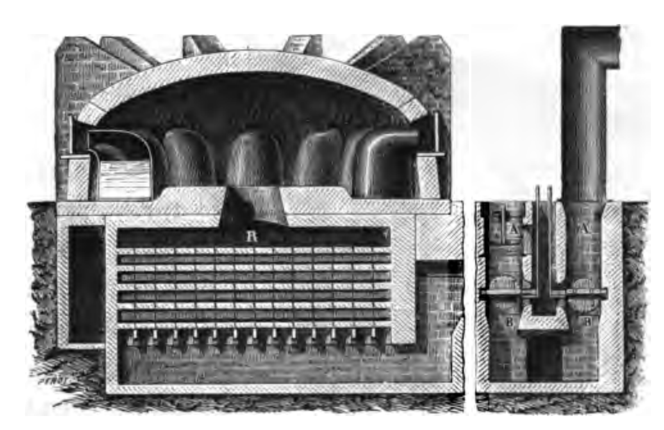


Fig. 14.

Légende.

Fig. 14. — Coupe transversale du four de fusion. Les gaz du générateur arrivent en A, et l'air est aspiré en A, les deux colonnes gazeuses pénétrant, sans être mélangées de bas en haut, dans deux chambres contiguës (*régénérateurs de chaleur*) qui ont emmagasiné et qui leur cèdent la haute température que les gaz brûlés sortant du four de fusion leur ont laissée.

heures ou toutes les heures, les quatre chambres fonctionnent alternativement pour donner de la chaleur aux gaz entrants et pour en dépouiller et mettre en réserve celle des gaz qui sortent du four (fig. 14, 15 et 16).

La vitesse des courants gazeux est réglée par la cheminée d'appel, en diminuant ou en augmentant l'accès de l'air sous la grille, etc.

La température des gaz est de 1,400° à 1,600°, et peut dépasser 2,000°, par suite des combinaisons

qui s'effectuent dans le four ; elle est tellement élevée que plus d'une fois, lorsque ce mode de chauffage était encore dans sa période d'essai, les creusets et le four ont été eux-mêmes partiellement fondus. Les gaz qui sortent par la cheminée ne sont plus qu'à une température relativement basse, de 170° à 200°.

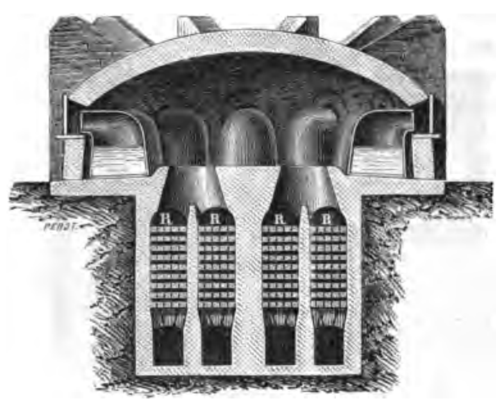


Fig. 15.

Légende.

Coupe verticale du four de fusion et des régénérateurs de chaleur. — Les gaz combustibles et l'air arrivent, par exemple, par les deux chambres contiguës de droite, se mélangent et brûlent un peu au-dessus de B; les gaz brûlés sortent par l'autre ouverture, BB, à gauche, traversent de haut en bas les deux chambres de gauche qu'elles portent à la haute température qui, par un renversement de clapets servira à échauffer ultérieurement les gaz et l'air qui y arriveront par la partie inférieure.

Les gaz de la combustion sont produits dans les *générateurs* (fig. 13) dans lesquels le combustible est mis en ignition. La houille, qui est le combustible qu'on emploie le plus souvent, bien que le bois sous forme de billettes préalablement séchées soit en usage dans quelques verreries, est introduite par des trémies que l'on ferme au moyen de couvercles : elle descend sur un plan incliné et elle arrive sur une grille également inclinée; au-dessus se trouve une voûte en briques qui réverbère la chaleur sur la houille fraîche arrivant par le plan incliné et en opère la

distillation partielle. L'air qui traverse la grille chargée de houille donne de l'acide carbonique qui, en contact avec les couches épaisses de charbon incandescent, se transforme en oxyde de carbone : celui-ci se trouve mélangé avec les carbures d'hydrogène et l'hydrogène résultant de la distillation partielle de la houille.



Fig. 16.

Légende.

Coupe horizontale du four de fusion à la hauteur, et, pour une partie, au-dessus des creusets.

L'un des deux orifices D D, sert alternativement à l'entrée de l'air et du combustible gazeux, tandis que les gaz de la combustion sont aspirés par l'autre.

Ainsi que nous l'avons dit, les gaz combustibles arrivent par un large tuyau horizontal dans l'un des régénérateurs et le traversent de bas en haut; l'air appelé par la cheminée pénètre dans la chambre contiguë. L'une et l'autre chambre est garnie de treillis de briques déjà rougies par la chaleur abandonnée par les gaz brûlés sortant du four. Un mince filet d'eau qui tombe près du combustible incandescent, a pour objet de ménager la grille, en même temps qu'il produit de l'hydrogène et de l'oxyde de carbone qui s'ajoutent aux gaz qu'engendre la décomposition de la houille.

Les fours Siemens présentent des avantages con-

sidérables; ils permettent de réaliser une économie de combustible qui s'élève à 40 et même 50 °/₀; ils peuvent être alimentés avec des houilles de qualité inférieure; dans ce cas, l'économie peut aller, dit-on, jusqu'à 75 °/₀. Néanmoins un mélange de houille grasse et de houille maigre constitue le meilleur combustible à employer, celui qui donne la production de gaz la plus régulière.

La capacité intérieure des fours de verrerie se trouve considérablement diminuée, ceux-ci n'ayant plus ni grilles, ni fosses. Les pots peuvent être très-rapprochés, surtout quand les fours de fusion ne servent pas en même temps pour le travail, ainsi que cela se présente pour la fabrication des glaces.

On n'a plus à redouter les cendres, les parcelles de charbon qui dans les fours ordinaires sont fréquemment projetées à la surface du verre; en même temps, la propreté de la halle et des outils est bien plus facile à entretenir.

D'un autre côté, l'installation de ces appareils est fort coûteuse; leur direction exige une surveillance de tous les instants : maintes fois de violentes explosions se sont produites soit au moment de l'allumage des gaz, soit par suite de fausses manœuvres des clapets qui règlent la direction des gaz. En outre, dans les tuyaux de communication entre les générateurs et les chambres, il y a condensation de produits goudronneux qu'il faut brûler de temps à autre; cette opération est fort gênante pour le voisinage, en raison de la grande quantité de fumée noire à laquelle elle donne naissance.

Four Boétius.

Depuis quelques années ce four, inventé par M. Boétius, ingénieur civil à Hanovre, fonctionne dans un grand nombre de verreries de France et de l'étranger. Cet appareil est d'une construction

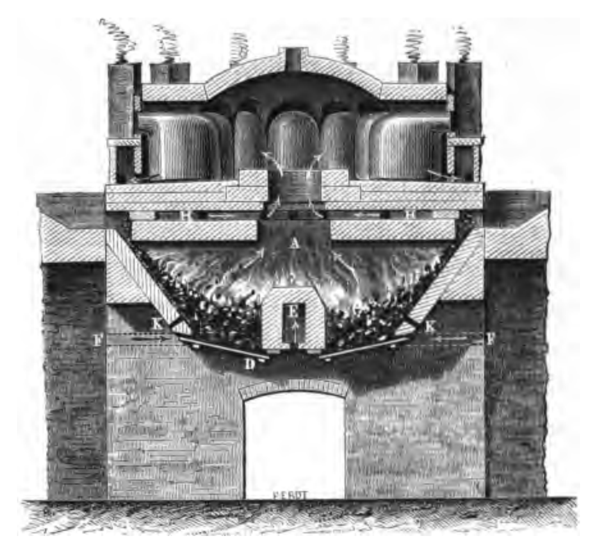


Fig. 17.

plus simple et moins coûteuse que celle des fours Siemens : il a pour objet l'utilisation méthodique du charbon, l'échauffement de l'air destiné à sa combustion et le parfait mélange des gaz. La figure 17 représente les dispositions d'un four à cristal à 12 creusets, chauffé par deux générateurs.

La houille, chargée par les deux ouvertures latérales, fournit des carbures d'hydrogène et autres produits combustibles ; elle arrive sur les grilles D à

l'état de coke : celui-ci brûle au contact de l'air en donnant de l'acide carbonique qui, en traversant la couche de charbon incandescent, se transforme partiellement en oxyde de carbone.

La grille ne laisse passer que l'air nécessaire à la combustion du coke. Pour brûler les gaz formés, on a établi des prises d'air spéciales dans le massif E, et sur le devant des générateurs, en F. Cet air circule par des carnaux autour des générateurs; en s'échauffant, il refroidit les briques et en assure la conservation : c'est pour arriver au même résultat que sont établis les carnaux H, sous les siéges du four. De là, l'air chaud se mélange aux gaz par les quatre côtés et les brûle complétement. Le jet des flammes monte à la voûte et est ensuite aspiré par les cheminées ménagées dans les piliers du four.

Le fondeur règle la température au moyen de la hauteur de la couche de charbon dans les générateurs, en décrassant plus ou moins la grille et en donnant de l'air par les ouvertures K ménagées dans le tablier des générateurs; il fait également varier, au moyen de registres, la quantité d'air introduite dans le four ainsi que le tirage des cheminées.

Les avantages de ce système, d'après M. Boétius, sont nombreux : l'économie sur le combustible s'élève à 30 %; elle est plus importante encore pour les établissements qui se servent de houille de qualité inférieure. On obtient une température plus élevée que dans les fours ordinaires, et on réduit ainsi la durée des opérations, sans compromettre celle du four ni celle des creusets.

La construction de cet appareil est simple et ses dispositions sont telles qu'il est facile de transformer les anciens fours en fours de ce système. A la vérité, la flamme qui en sort n'est pas utilisée, comme dans le système Siemens; mais cette perte de chaleur se trouve largement compensée, d'après l'inventeur, par les avantages qui viennent d'être énumérés.

Fours à vannes et à cuvette.

Dans la verrerie de M. Fréd. Siemens, à Dresde, on fabrique des bouteilles avec le verre contenu dans une longue cuvette à plusieurs compartiments, disposée de telle sorte que les matières premières étant introduites à l'une de ses extrémités, le soufflage du verre se fait à l'autre bout du four.

Dans un rapport intéressant sur l'Exposition universelle de Vienne en 1873 [1], M. Léon Mondron, de Charleroi, a donné de ce four une description que nous reproduisons textuellement, en raison de la nouveauté de cet appareil et de la place importante qu'il paraît destiné à prendre dans la fabrication de diverses sortes de verre :

« Le principe de cette invention repose sur cette particularité que le poids spécifique de la masse de verre augmente à mesure que se fait la fusion; on obtient ainsi une séparation d'après les différents degrés de la fonte, qui permet que la masse de verre soit soumise à une température correspondante à chaque place.

1. Documents et Rapports des jurés et délégués belges. *Industrie de la verrerie,* par M. Léon Mondron ; Bruxelles, 1874.

« Ceci posé, disons tout de suite que le four de M. Fr. Siemens consiste en trois bassins. A est la place à fondre ; B la

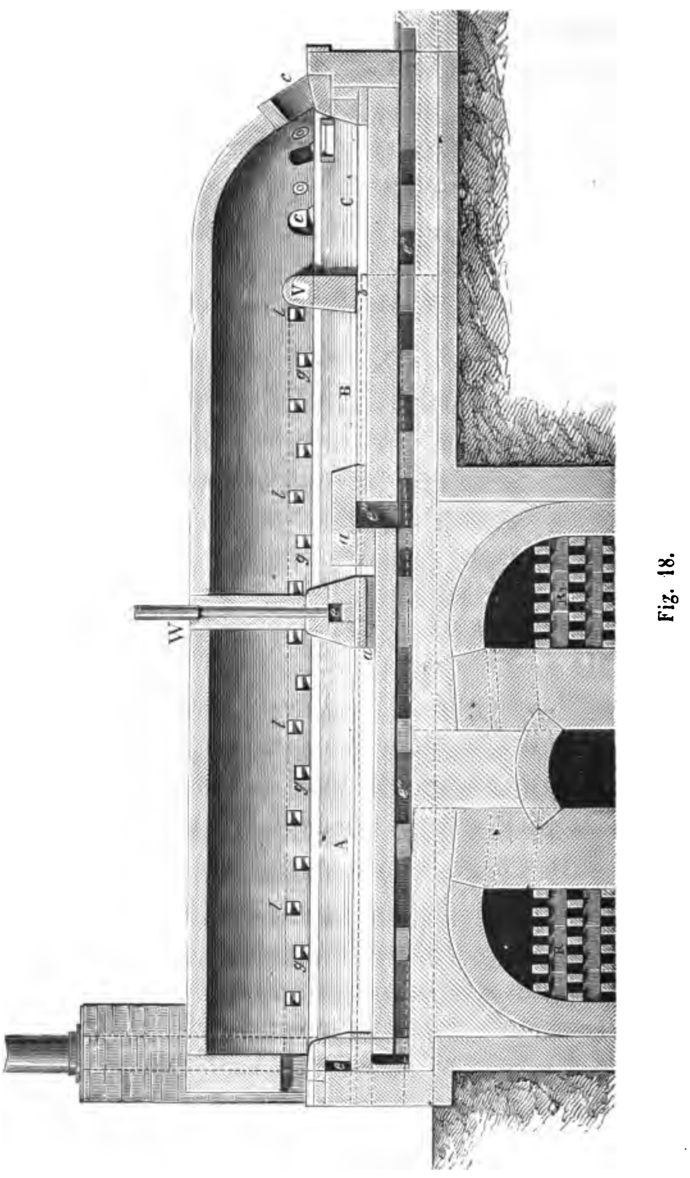


Fig. 18.

place à affiner; C la place de travail. Au-dessous se trouvent les régénérateurs à gaz dont la partie supérieure seulement est représentée dans la coupe ci-dessus (fig. 18).

« Supposons que la partie inférieure de chaque division soit remplie de verre correspondant aux différentes phases de la fonte, tandis que, dans la partie supérieure, la flamme du gaz agit directement sur la surface du verre.

« Cette masse ou couche de verre ne doit pas dépasser environ 40 centimètres d'épaisseur.

« Le fond du bassin, ainsi que les parties latérales, sont pourvues de refroidisseurs d'air *e e''*, pour les protéger contre la chaleur et l'effet décomposant du verre.

« Au moyen de cheminées d'appel, on entretient par tous les canaux refroidisseurs une circulation d'air froid, et on empêche, en même temps qu'on obtient une plus longue résistance du matériel réfractaire, le passage du verre par les jointures des briques dans les parties des gargouilles régénératrices qui se trouvent en dessous.

« Le mélange du verre brut placé dans le compartiment A tombe doucement, au fur et à mesure de la fonte, sur le fond du bassin, et coule par les canaux *a*, *a*, faits dans la partie inférieure du mur de séparation W, puis dans la partie supérieure de la place à affiner B.

« Cette partie du four est pourvue d'un pont refroidi *a*, qui est à quelques pouces plus bas que le niveau supérieur du verre et il sert à conduire le verre à la surface chaude pour l'affiner. Le verre, bientôt affiné par l'effet de la chaleur plus élevée à la surface, tombe, sur l'autre côté du pont *a*, de nouveau sur le fond du compartiment B, pour entrer ensuite dans le four C, par des ouvertures *b*, pratiquées dans le pan latéral.

« Le verre, prêt à être travaillé, est recueilli par les ouvreaux *c*, *c*, *c*, qui se trouvent dans le mur extérieur, en demi-cercle, pour être livré aux souffleurs.

« Pour éviter, dans la marche continuelle du verre de la place de fonte à la place de travail, toute stagnation, même partielle, on a dû retrécir les passages montants *a*.

« L'inventeur a également voulu éviter les inconvénients du refroidissement ou de la décomposition du verre dans le compartiment de travail C, en relevant le pavement de ce compartiment de façon à n'y laisser pénétrer qu'une épaisseur de verre d'environ 30 centimères.

« La flamme n'est pas introduite par la direction longitudinale, mais par la *latérale* à travers les bassins; le gaz et l'air passent également et alternativement par les passages *g* et *l* dans la partie supérieure de la *vanne*.

« Le passage .atéral de la flamme au travers du bassin est indispensable pour obtenir, dans les différentes parties du four, les divers degrés de chaleur nécessaires. Pour le même motif, on a construit le mur de séparation refroidi W et on a ainsi séparé tout à fait des autres compartiments le bassin où se fait la première fonte.

« L'autre séparation V n'atteint pas la voûte ou *couronne*, de sorte qu'une partie de la flamme pénétrant dans la division B passe au-dessus de *v* dans la place de travail C et peut s'échapper par les ouvrages *c*, *c*, *c*, comme cela se fait dans les fours ordinaires.

« En résumé, les principaux avantages du four à fondre et à soufflage continus sont faciles à saisir :

« 1° Suppression des creusets et de tous les frais et inconvénients auxquels ils sont sujets;

« 2° La fonte et le soufflage ayant lieu en même temps, augmentation considérable de la production, puisqu'il n'y a aucune interruption dans la fabrication, qui est réglée de 6 heures du matin à 6 heures du soir et de 6 heures du soir à 6 heures du matin.

« 3° Durée plus grande et absence des *larmes* de la *couronne*, grâce à une parfaite uniformité de la chaleur dans chaque four et surtout à la chaleur toujours tempérée du four de travail.

« Il est à remarquer, en outre, que chaque partie de la

masse fondante, dont l'épaisseur ne dépasse pas 40 centimètres, comme nous l'avons dit, est exposée tout entière à la chaleur du four, tandis que, dans les systèmes actuels de travail, la chaleur entière du four produit son effet seulement à la surface des creusets et que les couches de verre qui se trouvent au-dessous ont beaucoup moins de chaleur, ce qui nécessite l'emploi d'une chaleur essentiellement plus grande que celle qui répond à la vraie température pour la masse à fondre.

« Au dire du célèbre inventeur, qui en a fait l'expérience dans ses établissements à Dresde, un four à 8 places (16 souffleurs) de son *nouveau système* dit *à vannes*, consomme à peu près la même quantité de charbon qu'un four ordinaire à gaz ayant 12 creusets et sa production est plus du double. M. Fr. Siemens possède plusieurs fours à vannes pour la fabrication des bouteilles et un autre four qui produit tous les articles d'éclairage et des cylindres en verre blanc dont la qualité et la teinte ne laissent rien à désirer.

« Mais dans ce procédé, comme dans l'autre de M. Fr. Siemens, à un degré moindre, il est vrai, il se présente un inconvénient capital, qui en retardera peut-être encore l'application dans notre pays : c'est que la dépense pour la construction des fours *à vannes* est plus élevée que celle pour nos fours ordinaires; car un four à 6 places, y compris le gazomètre, coûterait, au dire de M. Fr. Siemens, la somme de 12,000 à 15,000 francs.

« Ces fours ne peuvent d'ailleurs être utilisés que pour une production considérable de verre ayant la même teinte, parce que la transition d'une couleur à une autre donne lieu à certains inconvénients qu'il n'est possible de faire disparaître qu'après plusieurs journées de travail. »

On voit que dans ce four, la sole est divisée en trois compartiments par des autels transversaux : le premier sert à la fusion, le second à l'affinage et le

troisième au cueillage du verre. Dans un autre four qui fonctionne à Dresde, le second autel est supprimé et remplacé par des couronnes en argile, au nombre de quatre-vingts, dans lesquelles le verre s'affine en circulant. Des courants d'air froid sont ménagés sous la sole du four afin de rendre sa durée plus longue.

On fait entrer dans la composition, dont le chargement se fait toutes les deux heures, une certaine quantité de granite en poudre et d'autres roches siliceuses contenant de la silice, de la soude ou de la potasse et de l'alumine. On consomme environ 70 kilogrammes de lignite pour fondre et pour travailler 100 kilogrammes de verre.

MM. Videau et Clemandot ont construit à Blanzy (Saône-et-Loire), dans une verrerie à bouteilles appartenant à M. J. Chagot et Cie, un four dans lequel on a remplacé les creusets pour fondre le verre par une seule cuvette de grande dimension chauffée au gaz. J'ai fait connaître précédemment la composition d'un échantillon de verre dévitrifié que M. Videau m'a remis lors de la mise hors feu d'un four de cette nature.

Fonte des matières qui fournissent le verre.

Les phénomènes qui se produisent pendant la fusion varient avec la nature des verres. Si la *composition* est un mélange de silice, de carbonate de chaux et de carbonate de soude, la matière s'affaisse et se fritte d'abord, et quand la fusion commence, elle est rendue bulleuse par suite du dégagement de l'acide

carbonique contenu dans les sels employés; elle contient en suspension le sable qui rend le verre opalin et qui disparaît au fur et à mesure que l'affinage devient plus complet.

Le sel de soude est-il remplacé par un mélange de sulfate de soude et de charbon, il y a production d'acide sulfureux et d'acide carbonique. Dans tous les cas, il est nécessaire qu'il y ait dégagement de produits gazeux qui produisent le brassage de la matière et la rendent plus homogène. C'est pour cette raison que pour faire le cristal, au lieu d'employer la litharge, on se sert du minium; ce corps, en se transformant en protoxyde, donne de l'oxygène, qui opère ce brassage et qui, en outre, brûle les matières organiques que la potasse ou le sable pourraient renfermer. L'acide arsénieux, qu'on introduit en petite quantité tant pour compléter l'affinage de beaucoup de sortes de verres que pour les décolorer, agit de la même façon en se volatilisant. Il en est de même du nitre, qui fournit des produits gazeux oxydants, et, en même temps, un fondant alcalin, mais qu'on ne peut employer qu'en quantité minime, parce qu'il use rapidement les pots.

Quand le verre est fondu, on y ajoute une petite quantité de bioxyde de manganèse, (*savon du verrier*), pour le blanchir; ce corps agit soit en brûlant l'excès de charbon qui jaunit le verre, soit en suroxydant le fer qui se trouve à l'état de silicate vert de protoxyde, soit en produisant le phénomène des couleurs complémentaires; le violet qu'il donnerait, s'il était seul, neutralise la teinte verte du silicate de fer.

Cette dernière explication est la plus plausible ; car on a constaté qu'en fondant ensemble deux verres, l'un coloré en vert par le fer, l'autre en rougeâtre par le manganèse, on obtient un verre incolore. L'acide arsénieux exerce aussi une action décolorante; il brûle le carbone ou il fait passer le fer à son maximum d'oxydation; la teinte jaunâtre du silicate de peroxyde de fer est peu sensible.

La matière argileuse qui constitue le creuset ne résiste pas, d'ailleurs, indéfiniment à l'action corrosive des produits qu'elle reçoit; à la longue, elle se vitrifie elle-même; elle se dissout dans le verre fondu. De là vient la petite quantité d'alumine et d'oxyde de fer qu'on trouve dans tous les verres. Les parois du creuset s'amincissent de plus en plus, jusqu'au moment où elles se fendillent, n'ayant plus une épaisseur suffisante pour résister à la pression intérieure très-considérable que le verre fondu exerce sur elles.

Le remplacement d'un pot hors de service par un pot neuf se fait en déplaçant les briques mobiles dans lesquelles sont pratiquées les ouvertures de cueillage et de réchauffage, en sortant par cette ouverture le vieux pot et en y introduisant le nouveau, déjà chauffé dans un four spécial à une haute température. La plupart des fours sont munis d'arcades qui correspondent aux creusets qu'ils contiennent. La devanture de chacune de ces arcades est mobile et s'enlève à volonté : elle se compose d'un petit nombre de briques; une grosse brique carrée s'applique immédiatement devant le creuset; au-

dessus se trouvent deux briques placées de champ ou pied-droit, lesquelles supportent *la plate-forme*, brique semi-circulaire dans laquelle sont pratiqués les trous ou *ouvreaux* pour le cueillage, avec une autre brique de fermeture : en quelques minutes, ces diverses pièces dont la forme et les dimensions varient avec les exigences du travail, sont enlevées et replacées.

Indépendamment des produits gazeux, tels que l'acide carbonique, l'acide sulfureux, la vapeur d'eau, l'oxygène, l'acide arsénieux, etc., il se produit des fumées blanches qui sont dues à la volatilisation des chlorures contenus dans les sels de potasse ou de soude, ou de ces alcalis eux-mêmes ; aussi la voûte d'un vieux four est-elle toujours tapissée à l'intérieur d'une couche épaisse de matières vitrifiées. Ce sont ces matières qui, liquéfiées par la chaleur, tombent dans les creusets et y produisent les *larmes*.

A mesure que la température se prolonge, la matière devient moins bulleuse ; elle s'éclaircit, elle s'affine ; elle devient très-liquide. Le *fiel de verre*, qui est un mélange de sulfates et de chlorures alcalins, monte à la surface de la matière fondue et est enlevé avec des outils en fer. Quand l'affinage paraît suffisamment avancé, on souffle quelques fioles épaisses de verre et on examine attentivement si elles sont exemptes de coloration, de bulles, de bouillons, de stries, de grains de sable. Lorsque cette épreuve est satisfaisante, on laisse la température s'abaisser de manière à donner au verre la consistance pâteuse

qui permet de le travailler. La *fonte* et l'*affinage* ont duré douze à vingt-quatre heures. On fait alors le *travail*. Chaque creuset vidé, on introduit par l'ouvreau, et par fractions, la composition, et on recommence la fonte. Ainsi la fabrication est continue; elle ne s'arrête que quand le four lui-même est tellement détérioré qu'on est forcé de le reconstruire. Ce qui arrive après une année ou deux de service.

CHAPITRE TROISIÈME

Silicates alcalins. — Verres solubles.

Les verres sont des mélanges ou des combinaisons d'un silicate alcalin avec un silicate terreux, ou, pour le cristal, avec le silicate de plomb.

Avant d'entrer dans les détails de fabrication des différents verres, il importe de connaître les propriétés des silicates alcalins. Les verres qui en contiennent au delà d'une dose convenable sont facilement attaqués par l'eau, par les acides, par les alcalis, etc. Nous avons vu qu'aujourd'hui ceux qui proviennent d'une bonne fabrication, résistent aux agents chimiques. Mais il n'en est pas moins nécessaire d'étudier les propriétés *des verres solubles*, lesquels, fabriqués dans d'autres établissements et pour d'autres usages que les verres ordinaires, ont donné lieu, depuis quelques années, à plusieurs applications industrielles importantes.

Van Helmont a montré, dès 1640, qu'en fondant du sable avec beaucoup de potasse on obtient un produit très-soluble dans l'eau, qui tombe même en

déliquescence à l'air. Cette dissolution est *la liqueur des cailloux*. En employant l'alcali en moindre quantité, on obtient *les verres solubles*. Ceux-ci ressemblent aux verres ordinaires par leur aspect transparent et vitreux; peu attaquables par l'eau froide, ils sont solubles dans l'eau bouillante. Leur fusibilité est d'autant plus grande qu'ils sont plus riches en alcalis : un mélange de 1 partie de silice (sable) et de 5 parties de carbonate de potasse fond aisément au rouge cerise. La température du rouge blanc est nécessaire pour obtenir le même résultat avec 3 parties de silice et 1 de carbonate de potasse; 5 parties de silice et 1 de ce dernier sel donnent un mélange non fusible, qui se fritte seulement quand on le soumet au feu de forge.

Un chimiste de Munich, Fuchs, a étudié en 1825 le verre soluble qu'il préparait en chauffant dans un creuset, pendant cinq à six heures, un mélange de 15 parties de quartz pulvérisé, 10 parties de carbonate de potasse et 1 partie de charbon. Quand le verre est bien fondu, on le coule, ou bien on le retire du creuset avec une poche en fer. On le pulvérise avant de le traiter par l'eau bouillante : la dissolution ne se fait pas complétement, alors même que le mélange est maintenu pendant longtemps à la température de l'ébullition.

On fabrique aussi ce verre en chauffant dans un four à reverbère jusqu'à fusion tranquille 630 kilogrammes de sable blanc avec 330 kilogrammes de potasse marquant 78° alcalimétriques : on obtient ainsi 845 kilogrammes de verre transparent, homo-

gène, incolore ou d'une teinte légèrement ambrée. Ce produit est très-peu soluble, même dans l'eau bouillante. Pour le dissoudre, on introduit dans un digesteur en fer à haute pression les fragments de ce verre grossièrement broyés avec la quantité d'eau nécessaire pour obtenir une dissolution marquant 33 à 35° au pèse-sel de Beaumé. Il importe de se servir d'eau distillée ou d'eau de pluie, les sels calcaires des eaux ordinaires donnant naissance à du silicate de chaux insoluble qui rendrait la solution plus ou moins trouble ou opalescente; et qui est beaucoup moins alcaline que celle qu'on obtient par d'autres procédés; elle contient la silice et la potasse combinée dans les rapports de 70 à 30.

Le silicate de soude se prépare aussi *par la voie sèche*, en fondant dans les mêmes conditions 180 parties de sable avec 100 parties de carbonate de soude à 91 °/₀ de sel réel.

Les formules $3SiO^2,KO$ et $3SiO^2,NaO$ représentent la composition *théorique* de ces sels; dans la première 65,7 de silice sont combinés avec 34,3 de potasse; la seconde donne 74,3 de silice et 25,7 de soude, pour 100 parties; mais les produits fabriqués industriellement renferment presque toujours un excès d'alcali plus ou moins considérable.

M. Kuhlmann, qui a fait en 1841 de nombreuses expériences sur l'emploi des verres solubles pour la *silicatisation* des pierres, obtient, *par la voie humide*, des produits analogues en chauffant, pendant quelques heures, dans une chaudière en fer, sous une pression de 5 à 6 atmosphères, un mélange de sable

et de lessive de potasse ou de soude caustiques; dans l'intérieur de la chaudière se trouve un agitateur en fer. On laisse refroidir le liquide jusqu'à 100°; on le soutire quand il s'est éclairci par le repos, puis il est concentré jusqu'à ce que sa densité soit égale à 1,25. Ou bien l'évaporation est faite à siccité dans une chaudière également en fer. On sait que ce métal n'est pas attaqué par les liqueurs alcalines.

Ce verre soluble contient 65 de silice et 35 de potasse. Il est soluble dans l'eau bouillante, tandis que l'eau froide ne le dissout pas sensiblement. Sa dissolution est décomposée par tous les acides, par l'acide carbonique lui-même; elle est comme coagulée par l'addition d'un sel alcalin : mélangée avec des substances en poudre sur lesquelles les alcalis n'exercent pas d'action chimique, elle est collante et agglutinative; c'est une espèce de colle forte minérale.

Dans l'origine, le verre soluble a été employé pour ôter au bois et aux étoffes la propriété de brûler avec flamme; on ajoutait à sa dissolution faite à chaud de l'argile sèche pulvérisée, de la craie, des os pulvérisés, de la litharge, de l'ocre rouge, etc. On a dit que les bois qui sont entrés dans la construction du grand théâtre de Munich avaient été préparés avec un enduit de verre soluble; mais je tiens de M. Fuchs lui-même, qu'on a eu, en effet, le projet de faire cette application, mais qu'on y a renoncé, à cause de la dépense qu'elle eût alors entraînée.

Une étoffe, même très-fine, comme la gaze ou la

mousseline, plongée dans une dissolution étendue de silicate de potasse et séchée, perd la propriété de brûler avec flamme : la matière organique, enveloppée d'un réseau de substance minérale fusible, noircit et se carbonise comme si elle était chauffée dans une cornue à l'abri du contact de l'air; mais elle ne s'enflamme pas. On comprend, par suite, l'intérêt que présenterait l'usage d'un pareil préservatif contre l'incendie. Mais, sans parler de l'insouciance qu'on a pour se garantir d'un danger éventuel, cet emploi offrirait plusieurs inconvénients : la réaction alcaline du verre soluble altère le plus souvent la couleur des peintures ou des tissus, et, comme cette substance est toujours un peu déliquescente, ceux-ci, bien que séchés, attirent l'humidité de l'air en restant plus ou moins humides, et en retenant opiniâtrément la poussière. Aussi, après des essais assez nombreux, a-t-on dû renoncer à son emploi pour préserver de l'incendie les décors de théâtre, les tentures, les tissus pour robes, etc.

Le verre soluble peut d'ailleurs être remplacé par diverses substances qui agissent de la même façon, notamment par une dissolution de parties égales de phosphate d'ammoniaque et de sel ammoniac; des tissus trempés dans de l'eau contenant 7 à 8 °/₀ de sulfate d'ammoniaque perdent également leur inflammabilité.

On vend en Angleterre de l'amidon additionné de tungstate de soude qui fournit, pour les tissus légers des robes, des rideaux, etc., un empois qui les rend ininflammables.

M. Kuhlmann a fait, il y a une trentaine d'années, une application plus heureuse du silicate de potasse; je veux parler de la *silicatisation* des pierres calcaires.

Un morceau de craie, plongé pendant quelques jours dans une dissolution moyennement concentrée de cette substance, exposé à l'air, puis introduit dans une dissolution plus étendue et séché, devient presque aussi dur que le marbre; le calcaire, ainsi silicatisé, peut recevoir par le travail un beau poli; immergé dans l'eau, il conserve la cohésion qu'il a acquise.

La théorie de cette opération n'est pas bien établie. D'après M. Kuhlmann, il y aurait formation de silicate de chaux; d'après Fuchs, le carbonate de chaux ne serait pas décomposé; par la dessiccation, ce sel se combinerait avec le silicate de potasse et donnerait naissance à un composé d'une grande dureté et inattaquable par l'eau.

On peut admettre avec plus de vraisemblance, à mon avis, que, sous l'influence de l'acide carbonique de l'air, il se produit dans les pores du calcaire un dépôt de silice qui durcit en se desséchant, et qui donne aux matériaux poreux un nouvel état d'agrégation. Quant au carbonate de potasse qui se produirait parallèlement, il disparaîtrait sous l'influence des eaux pluviales ou bien il resterait emprisonné dans la pierre. Il ne paraît pas que sa présence ait nui jusqu'à présent à la durée des matériaux qu'on a soumis à la silicatisation. Les efflorescences de carbonate de soude qui se produisent rapidement à la surface des pierres imprégnées de silicate de soude

donnent à cette dernière interprétation une grande vraisemblance.

L'altération plus ou moins rapide des matériaux de construction est en raison de leur porosité. Sous l'influence des gelées, des germes charriés par l'air qui engendrent les végétations cryptogamiques, de l'eau pluviale qui agit par l'acide carbonique qu'elle renferme, les pierres calcaires se délitent, se fendillent, se creusent à la longue. On obvie à ces altérations en les imprégnant d'une dissolution de silicate de potasse. Il est essentiel d'opérer sur des pierres très-sèches, et par un temps sec et chaud.

D'après M. Rochas, qui, depuis 1852, a exécuté de nombreux travaux de cette nature, notamment à Notre-Dame de Paris, à la cathédrale de Chartres, etc., il convient de laver d'abord les bâtiments à l'eau et à la brosse : s'il s'agit de sculptures délicates, on les lave à l'eau avec une pompe lançante. Quand les pierres sont sèches, on les asperge avec la dissolution de silicate en se servant de la même pompe; ces aspersions sont continuées pendant trois à quatre jours, jusqu'à ce que la pierre se recouvre d'un léger enduit gélatineux.

L'état de concentration de la dissolution varie avec la nature des matériaux. Pour les pierres dures, telles que les grès, la roche, le liais, etc., elle doit marquer 7 à 9° au pèse-sel de Beaumé; pour les pierres tendres à gros grains et à pores ouverts, 5 à 7°; pour les calcaires tendres à pâte molle, 6 à 7° : on termine, d'ailleurs, l'opération avec un liquide plus étendu, d'une densité de 3 à 4° seulement.

On doit à M. H. Wagner des détails intéressants sur l'emploi du verre soluble dans les constructions; cet emploi se continue en Allemagne, tandis qu'il est, quant à présent, abandonné chez nous.

D'après M. Wagner, il existe quatre variétés de verres solubles : le silicate de potasse, le silicate de soude, le silicate mixte (à équivalents égaux de potasse et de soude) et le verre soluble pour fixatif (silicate de potasse saturé de silice et additionné d'un peu de silicate de soude). Quel que soit celui dont on fait usage, soit pour recouvrir les murailles soit pour en imprégner des briques, etc., sa dissolution est au même degré de concentration. Pour une surface de muraille de 100 mètres carrés, on emploie :

Pour la 1re couche,	2 kil.	de verre soluble à	33° et	6	litres d'eau.
Pour la 2e —	2 kil.	—	33° et	4	—
Pour la 3e —	1kil,5	—	33° et	3	—

Pour imprégner uniformément toute la surface et pour lui donner une dureté égale, il faut que le revêtement ait une certaine porosité : un mortier calcaire récemment fait ne se laisse que difficilement pénétrer par le verre soluble, qui peut y occasionner des fissures. Le mortier doit avoir subi assez longtemps le contact de l'air pour que toute la chaux soit carbonatée; autrement, la chaux caustique décomposerait en partie le silicate alcalin. Le mieux est d'asperger la muraille avec le silicate, sous forme de pluie, à l'aide d'une pompe et d'une pomme d'arrosoir.

Dans le but d'obtenir avec sûreté une couche

uniforme, il convient d'opérer sur un mortier en verre soluble, qu'on prépare de la manière suivante :

On fait un mélange intime de 10 parties de sable très-sec, de 3 parties de chaux délitée à l'air et de 2 parties de craie ou de pierre calcaire en poudre; ce mélange, tamisé, est ensuite gâché avec une lessive de silicate de soude à 33 degrés qu'on étend de 2 parties d'eau, de manière à être amené à l'état de pâte plastique. Ce mortier est très-utile pour préserver de l'humidité; on peut en modifier les caractères en changeant les proportions de craie et la concentration du silicate de soude; au bout de quelques jours il devient très-dur. On peut alors procéder à la silicatisation et à la mise en couleur.

On forme avec l'eau et la couleur à employer une pâte épaisse qu'on délaye dans la lessive de silicate alcalin : pour cet usage, le silicate mixte doit être employé de préférence. Après vingt-quatre heures, on applique une seconde couche de ce silicate coloré, puis le silicate fixatif, dans le but d'éviter les efflorescences de carbonate de soude. Pour donner à la surface un certain brillant, comparable à celui des peintures à l'huile, on donne une dernière couche de silicate fixatif très-étendu.

M. Kuhlmann a fait avec le silicate de potasse des peintures dans lesquelles ce sel remplace les huiles et les essences ordinairement en usage. Avec une dissolution concentrée, on obtient immédiatement la complète solidification de ces mélanges qui présentent le grand avantage d'être absolument sans odeur.

La base de cette peinture est le sulfate de baryte

artificiel; les principales matières colorantes, qui doivent être choisies parmi celles que le silicate de potasse n'altère pas, sont l'outremer, le sulfure de cadmium, les ocres, les oxydes de manganèse et l'oxyde vert de chrome. La céruse et le blanc de zinc sont exclus de ce mode de peinture; ils durcissent immédiatement quand on vient à les mélanger avec le silicate de potasse; ils sont remplacés avec une grande économie par le sulfate de baryte.

En présence des nombreux inconvénients que présente la peinture ordinaire à la céruse, à l'huile et à l'essence, on doit désirer que les procédés préconisés par M. Kuhlmann se vulgarisent et deviennent d'un emploi plus général.

Le verre soluble est employé en Allemagne dans des conditions analogues pour une nouvelle espèce *de peinture murale* à laquelle Fuchs a donné le nom de *stéréochromie*. Cette peinture a été mise en pratique et perfectionnée par le célèbre peintre V. Kaulbach. La préparation du *fond* exige des soins particuliers : il doit avoir une dureté égale à celle de la pierre et faire corps, pour ainsi dire, avec le mur. Le premier crépi ou *fond inférieur* est fait avec un mortier de chaux. Celui-ci étant bien sec, on l'imbibe avec une dissolution de silicate de soude. Après sa complète solidification, on fait le *fond supérieur* qui doit recevoir la peinture, formant à sa surface une épaisseur d'environ 2 millimètres; il doit être aussi plan et aussi sec que possible; on le frotte avec du grès fin de manière à le rendre un peu rugueux. Lorsqu'il est bien sec, on applique les couleurs

avec l'eau pure, celle-ci servant aussi à arroser fréquemment le mur. Il reste maintenant à fixer les couleurs avec *le verre soluble fixateur* qui est un mélange de silicate de potasse complétement saturé de silice avec du silicate de soude basique (liqueur des cailloux à base de soude obtenue en fondant 2 parties de sable avec 3 parties de carbonate de soude).

Comme ces couleurs ne présentent aucune àdhérence et qu'elles ne résisteraient pas au frottement du pinceau, le verre soluble est projeté sur la peinture sous forme d'une pluie fine au moyen d'un *pulvérisateur*. On termine en lavant la muraille, au bout de quelques jours, avec de l'alcool qui enlève la poussière et l'alcali devenu libre. Comme fond de peinture, Fuchs recommande un mortier de verre soluble fait avec addition de marbre pulvérisé, de dolomie, de sable et de chaux délitée. Les couleurs stéréochromiques dont il conseille l'usage sont le blanc de zinc, l'oxyde de chrome vert, le vert de cobalt, le chromate de plomb, le colchothar, les ocres, l'outremer; le cinabre devenant brun ou noir à la lumière ne doit pas être employé. Ce mode de peinture, d'après Wagner, est de beaucoup supérieur à la peinture à fresque dont le fond est fait avec du mortier de chaux ordinaire.

On se sert aussi du verre soluble (à base de soude) dans la fabrication des savons d'huile de palme et d'huile de noix de coco; ce corps les rend plus alcalins et leur donne plus de dureté. Il ne paraît pas que cette addition, qui est une espèce de fraude, soit pratiquée en France; mais elle est faite

sur une assez grande échelle en Allemagne et aux États-Unis d'Amérique.

Un autre emploi plus digne d'intérêt est celui qu'en font les chirurgiens pour la contention des fractures. Les propriétés adhésives du silicate de potasse sont mises à profit pour obtenir des appareils inamovibles remplaçant les bandages amidonnés, dextrinés et plâtrés employés pour le même objet. La solution de ce sel destinée aux usages chirurgicaux est visqueuse et doit marquer 33° Beaumé; il est essentiel qu'elle soit exempte de silicate de soude. D'après M. J. Regnauld, en 1873, on a consommé pour cet usage dans les hôpitaux de Paris 2,223 kilogrammes de silicate de potasse.

CHAPITRE QUATRIÈME

Verre à vitre.

Historique. — Le verre à vitre est aujourd'hui d'un usage si général, son emploi pour clore et pour éclairer nos habitations nous paraît si nécessaire, qu'il semble que sa fabrication doit remonter à une époque fort reculée; il n'en est pas ainsi; ce n'est que depuis quelques centaines d'années qu'il est devenu commun et d'un usage indispensable.

On a longtemps mis en doute l'existence de cette espèce de verre chez les peuples anciens, dont le climat, d'ailleurs, n'en réclamait pas impérieusement l'adoption: il est établi désormais que les vitrage en verre étaient connus, sinon des Grecs, au moins des Romains avant l'ère chrétienne.

Toute incertitude à cet égard a cessé, en ce qui concerne les Romains, depuis les découvertes faites à Herculanum et à Pompéi, les deux villes enfouies l'an 79 de notre ère sous les cendres du Vésuve. « On a trouvé en 1772, à Pompéi, dit Quatremère de Quincy, une fenêtre avec un beau vitrage de près de

trois palmes; les vitres avaient une palme en carré. » Dans son remarquable ouvrage sur les ruines de cette même ville, Mazois donne la description et le dessin d'un châssis en bronze, avec rainure destinée à recevoir une vitre de $0^m,72$ de hauteur sur $0^m,54$ de largeur. Le verre devait avoir une épaisseur de 5 à 6 millimètres.

M. Bontemps a soumis à un examen attentif un fragment des vitres trouvées à Pompéi. Des caractères certains, notamment la forme des bulles que ce verre présente et l'inégalité de son épaisseur, lui ont permis de reconnaître que ces vitres n'avaient pas été faites par le procédé du soufflage; elles avaient été coulées dans un cadre métallique, probablement dans un cadre en bronze; l'épaisseur, d'ailleurs inégale, était celle que Mazois avait considérée comme vraisemblable, par suite de l'examen du châssis dont il vient d'être question : de sorte que ce verre avait été obtenu par un procédé plus ou moins analogue à celui qu'inventaient seize siècles plus tard les fondateurs de Saint-Gobain.

Sa composition, déterminée par M. Claudet, est la suivante :

Silice	69,43
Chaux	7,24
Soude	17,31
Alumine	3,55
Oxyde de fer	1,15
Qxyde de manganèse	0,39
Oxyde de cuivre	Traces.
	99,07

La nature du verre pompéien est la même que celle de certains produits similaires de fabrication moderne : produits d'assez médiocre qualité, il est vrai; car, trop riches en soude, ils ne contiennent pas assez de chaux.

Il ne paraît pas qu'on ait trouvé des verres à vitre remontant à une époque plus reculée; la rareté même des fragments de vitres dans les deux villes romaines établit que leur usage était loin d'être commun; ce n'est que bien plus tard que leur adoption est devenue générale.

Au IIIe siècle, on commença à employer le verre pour garnir les fenêtres des églises; mais jusqu'au VIIe siècle on n'en faisait usage que sous forme de petites pièces rondes qu'on désignait sous le nom de *cives*.

Au XIIe siècle, la peinture sur verre fut inventée, d'après Le Vieil; les premières vitres furent peintes pour l'abbaye de Saint-Denis, dont la dédicace, faite par l'abbé Suger, date de l'année 1140; mais M. Ferd. de Lasteyrie, dans son *Histoire de la peinture sur verre*, estime que « Le Vieil était mal informé à cet égard, car il existait en Anjou plusieurs édifices ornés de vitraux d'une origine antérieure à ceux de Saint-Denis. Ces précieux monuments avaient échappé aux crises terribles de notre première révolution, et ils subsisteraient tous encore, si quelques-uns, tombés par malheur entre des mains indignes, n'avaient péri depuis peu par le seul fait de l'indifférence des propriétaires. » Les principaux, qui étaient ceux de l'abbaye de Leroux, dataient de 1121. Il avait été

question de les transporter à la cathédrale d'Angers; mais, avant qu'on ait mis ce projet à exécution, le mur qui les portait s'écroula et les anéantit.

On conserve encore, paraît-il, dans l'abbaye de Tegernsee, en Bavière, des vitraux dont un comte Arnold aurait fait présent à la fin du xe siècle. Ce sont les plus anciens que l'on connaisse (Ferd. de Lasteyrie).

La date de l'invention de la peinture sur verre à l'aide de couleurs vitrifiables est tout à fait incertaine. Suivant Batissier (*Cabinet de l'amateur et de l'antiquaire,* tome II), on aurait trouvé des verres peints dans les nécropoles de la haute Égypte. D'autres mentionnent un vase peint, représentant la figure du Christ, découvert dans les catacombes, ainsi qu'un autre vase trouvé à Cunes et décoré par un procédé analogue.

Léon d'Ostie est un des premiers qui aient parlé clairement de la peinture sur verre; il dit qu'en 1058 l'abbé Desiderius, un de ses prédécesseurs, fit reconstruire de fond en comble la salle capitulaire et l'orna de fenêtres vitrées qu'il fit peindre de couleurs variées : *colorum varietate depinxit.* (Liv. III de la chronique du Mont-Cassin.) Mais bien avant cette époque, on peignait sur verre : l'historien de Saint-Benigne de Dijon raconte, en effet, que de son temps (1052) on conservait dans l'église de ce monastère un très-ancien vitrail, représentant le martyre de sainte Paschasie, qu'on avait retiré de l'ancienne église, déjà restaurée plusieurs fois, notamment par Charles le Chauve. Sans aller jusqu'à pré-

tendre, avec Emeric David, qui cite ce passage, que ce vitrail avait été peint sous le règne du petit-fils de Charlemagne, on doit pourtant conclure de cette citation qu'au xe siècle on représentait déjà des scènes historiques sur les vitraux d'église.

A ce témoignage il convient de joindre celui du moine Bicher, du monastère de Saint-Remi, lequel rapporte dans sa chronique, qui s'arrête à l'année 995, qu'Adalberon, archevêque de Reims en 968, ayant restauré la basilique, l'éclaira par des vitraux sur lesquels étaient figurées diverses histoires.

L'usage des vitres pour les habitations particulières ne remonte qu'au xive siècle. On se servait toujours de petits carreaux enchâssés dans des plombs. Il est vraisemblable que la cherté des vitrages, jointe aux exigences de notre climat, n'a pas été sans influence sur les dispositions que présentent dans leur ensemble les constructions du moyen âge, dont les ouvertures sont en général petites. Les vitres d'un seul morceau ne furent employées que sous le règne de Louis XIV. Ces vitres, encastrées dans le bois, étaient de petite dimension; il en fallait habituellement vingt-quatre au moins pour le vitrage d'une fenêtre.

En Angleterre, pays dont le climat fait si bien apprécier l'utilité du verre à vitre, la fabrication de ce verre ne remonte qu'au viie siècle; les carreaux de vitre étaient encore rares et précieux il y a deux siècles. En Écosse, en 1661, on n'en voyait qu'aux chambres principales des habitations du roi.

« Les Anglais, dit Le Vieil, vers la fin du viie siècle,

ne savaient pas encore ce que c'était que verrerie ni vitrerie, jusqu'à ce que saint Vilfrid eût fait venir de France des vitres et des vitriers pour fermer les fenêtres de la cathédrale d'York, que saint Paulin avait fait bâtir. » « Chose nouvelle en ce pays, dit M. l'abbé Fleury, et nécessaire contre la pluie et les oiseaux. » C'est le même historien qui nous apprend, d'après le vénérable Bède et les actes des évêques d'York, que saint Benoît Biscop, étant passé en France cinq ans après saint Vilfrid, en emmena des maçons pour construire l'église et les bâtiments de son monastère de Viremouth, dans la Grande-Bretagne; que, peu de temps après, il en tira des verriers et des vitriers, qui y firent les premières vitres qu'on ait vues dans ce royaume, et en garnit les fenêtres de l'église et du monastère; et que ce fut des *Français* que les Anglais apprirent l'art de la verrerie et de la vitrerie. Ils ne tardèrent pas, d'ailleurs, à s'y rendre habiles; car les saints évêques Villebrod, Oüinfrid et Villehade, Anglais d'origine, en portèrent, dans leurs missions, la connaissance pratique chez les nations germaniques. »

Au moyen âge, dans quelques contrées méridionales, les ouvertures des fenêtres étaient closes avec des tablettes de marbre, percées de trous ronds ou carrés auxquels on adaptait des pièces de verre. On employa aussi des châssis de menuiserie évidés, comme l'indique Grégoire de Tours. La méthode la plus économique consistait à garnir les fenêtres de plâtre dur percé à jour et rempli de pièces de verre. De jolis spécimens de ce genre de vitrage se trou-

vaient dans le pavillon du Bosphore, à l'Exposition universelle de Paris, en 1867.

Il est impossible de fixer d'une manière bien précise l'époque à laquelle l'usage des vitres blanches se répandit parmi nous : il paraît que cet usage n'était pas fréquent, même pour les églises, dans les premières années du XIV[e] siècle. Berneton de Périn, dans sa dissertation sur l'art de la verrerie insérée dans le *Journal de Trévoux*, avance que dès le XII[e] siècle cet emploi existait en France; mais c'est une simple conjecture. Les premières fabriques de verre à vitre ne datent que du XIV[e] siècle, sous Philippe VI et le roi Jean. A la vérité, il s'en établit neuf en moins d'un demi-siècle. « Mais on ne doit pas s'imaginer, dit encore Le Vieil, que l'usage des vitres blanches fût déjà assez accrédité pour en être la seule cause; car, quoiqu'il paraisse qu'on n'y fabriquait que du verre en plats, il est certain que tous les plats de verre qu'on y *ouvrait* n'étaient pas de vitres blanches. Les vitriers, dans les démolitions qu'ils font journellement des vitres peintes de ce temps-là, trouvent des boudines de verre de couleur qui avait été ouvert en plat[1]. »

Le Vieil attribue à Philippe de Caqueray, écuyer, seigneur de Saint-Immes, la création, en 1330, de la première *grosse verrerie;* mais M. A. Millet, dans son *Histoire d'un four à verre de l'ancienne Normandie*, a montré qu'en 1302 cette fabrication

1. *Art de la peinture sur verre et de la vitrerie*, publié en 1774, par Pierre Le Vieil, dans le *Dictionnaire des arts et métiers de l'Académie des sciences.*

existait déjà dans cette province, à Bezu-la-Forêt.

Divers documents établissent combien le verre à vitre était autrefois rare et précieux.

On lit dans Ant. de la Salle (1455) : « Damp abbez mena ma dame en sa chambre chauffée qui était très-bien tendue et necte, tapissée, verrée; » et dans *les Cent nouvelles* (1459) : « Il répondit qu'il estait plus aise que ceux qui ont leurs belles chambres verrées, nattées et pavées. »

Sans aller jusque chez les habitants du Groënland, dont les vitres, d'après Buffon, étaient des boyaux transparents de poissons de mer, on lit dans le compte de Jean Avin, receveur général de l'Auvergne (1413) : « Pour la venue de Madame la duchesse de Berry, pour aller à Montpensier, faire faire certains chassitz aux fenaistrages dudit chastel, pour les ansire (clore) de toilles cirées par défault de verrerie. »

« En 1467, on commande pour les palais des ducs de Bourgogne « vingt pièces de bois à faire cassiz (châssis) de voirrières de papier, servant aux fenestres des chambres. » (M. A. Sauzai, *Merveilles de la verrerie*, p. 66.)

Dans un règlement qui porte la date de 1567, fait par l'intendant du duc de Northumberland, on lit ce qui suit : « Et parce que dans les grands vents, les vitres de ce château et des autres châteaux de monseigneur se détériorent et se perdent, il serait bon que toutes les vitres de chaque fenêtre fussent démontées et mises en sûreté lorsque Sa Seigneurie part; et si, à quelque moment, Sa Seigneurie ou d'autres séjournent à aucun desdits endroits, on

pourrait les remettre, sans qu'il en coûtât beaucoup, tandis qu'à présent le dégât serait très-coûteux et demanderait de grandes réparations. »

A la fin du XVIIIe siècle, il existait encore, sous le nom de *châssissiers*, une corporation qui avait pour profession de garnir les fenêtres de carreaux de papier huilé. Ce métier est décrit avec l'art du vitrier dans le volume de l'*Encyclopédie méthodique* publié en 1791.

Procédés de fabrication du verre à vitre.

Deux procédés sont mis en œuvre pour fabriquer le verre à vitre. Les Vénitiens et les Bohêmes se sont servis du *procédé des cylindres* pour les vitraux du XIIe et du XIIIe siècle; l'autre procédé, celui du *verre en couronne*, était employé vers la même époque dans les verreries de la Normandie, d'Angleterre et du nord de l'Allemagne. Ce dernier est depuis longtemps abandonné en France; il existe encore en Angleterre, et, tout en perdant chaque année de son importance, il fournit encore environ le quart du verre à vitre qu'on fabrique dans ce pays.

Le procédé des cylindres fut importé en France, à Saint-Quirin, par Drolenvaux, qui fit venir de la Bohême des ouvriers habitués à ce genre de travail. On lit à ce sujet dans l'*Encyclopédie :* « Enfin M. Drolenvaux obtint du roi la permission d'établir une verrerie à Saint-Quirin (en Vosges), près Sarrebourg. Il annonça son verre blanc en table supérieur, à tous égards, à celui qui venait de Bohême, comme

étant plus beau, c'est-à-dire d'une surface plus unie, moins onduleux, plus dur, c'est-à-dire, comme il l'explique lui-même dans le tarif qu'il a rendu public, nullement sujet à se rayer et à se calciner à l'humidité et au soleil, et du double plus épais. L'effet justifie ses engagements, et, depuis qu'il en fabrique, il est peu de personnes tant soit peu aisées qui ne placent dans leurs chambres des estampes montées sous verre. » (*Art du vitrier*, 1791.)

Verres à vitre soufflés en cylindres ou en manchons.

La fabrication du verre à vitre tend à se concentrer dans le voisinage des exploitations houillères ; en France, elle est très-importante dans le Nord, à proximité des mines de houille d'Anzin, d'Aniche, de Douchy, et, dans le centre, près du bassin houiller de la Loire, à Gisors et à Rive-de-Gier. La compagnie des verreries de la Loire et du Rhône produit annuellement 500,000 mètres superficiels de verre blanc et 75,000 mètres de verre de couleur; dans le Nord, cette industrie occupe 25 à 30 fours à 8 creusets, produisant 4 à 5 millions de mètres superficiels de verres à vitre. Elle est plus importante encore en Belgique; on compte dans ce pays environ 200 fours à 6 ou à 8 creusets; il est vrai que, par suite d'une entente entre les maîtres de verreries, tous ces fours ne sont en activité qu'autant que la demande est très-active. En 1860, la fabrication belge, qui est réputée pour la bonne qualité de ses produits, était de 43 millions de kilogrammes, dont 32 mil-

lions, soit environ 6,400,000 mètres superficiels étaient exportés[1]. D'après M. L. Mondron, elle était évaluée en 1874 à 21 millions de mètres carrés, représentant environ 120 millions de kilogrammes, d'une valeur de près de 40 millions de francs ; en 1873, cette valeur, grâce à une prospérité exceptionnelle, s'est élevée à 50 millions de francs.

Un four donne annuellement 600,000 kilogrammes de verre à vitre pesant de 2 à 5 kilogrammes par mètre carré. Il consomme environ 3 kilogrammes de houille pour produire 1 kilogramme de verre marchand.

1. En ce qui concerne la verrerie belge, on lisait dans le *Journal officiel* du 4 juillet 1875 :

« *Verrerie.* — La fabrication a été poussée très-activement en 1874. L'exportation des verres à vitre, notamment à destination de l'Angleterre et des État-Unis, a pris un développement considérable; ces expéditions à l'étranger, qui n'avaient pas dépassé 24,000 tonnes en 1872 et 63,000 tonnes l'année suivante, se sont élevées à plus de 80,000 tonnes en 1874. Les principaux pays de destination, en 1874, ont été :

	Tonnes.
L'Angleterre	25,500
Les Pays-Bas	5,800
L'Amérique du Nord	23,000
Le Zollverein	5,420
La Suède	2,130
La Turquie	4,100

Néanmoins les verreries de Belgique ayant dû, par suite de l'insuffisance des ouvriers, augmenter le prix de la main-d'œuvre, ont fini par se trouver dans une situation qui leur rendait la lutte moins facile contre la production des autres pays; aussi plusieurs fabricants ont-ils déjà éteint leurs fours depuis le commencement de l'année courante. »

L'Angleterre produisait, en 1861, 2,273,000 mètres de verre à vitre ordinaire et 1,000,000 de mètres de verre en couronne ; mais ce dernier mode de fabrication tend à s'éteindre, même dans ce pays.

La fabrication du verre à vitre au bois ne se maintient plus que dans un très-petit nombre de localités. Le combustible minéral, employé dans les conditions les plus favorables en France et en Belgique, entre déjà pour 30 à 40 °/₀ dans le prix de revient de cette sorte de verre; le prix du verre fabriqué avec le bois est notablement plus élevé.

COMPOSITION DU VERRE A VITRE.

La nature chimique du verre à vitre présente d'assez grands écarts ; voici la composition de quelques échantillons :

	I.	II.	III.	IV.	V.
Silice.	69,6	72,5	72,9	71,2	71,4
Chaux..	13,4	13,1	13,2	11,6	3,6
Soude..	15,2	13,0	12,4	2,3	16,2
Potasse.	»	»	»	14,2	6,9
Alumine.. . . .	1,4	1,0	1,0	0,4	1,0
Oxydes de fer et de manganèse.	0,4	0,4	0,5	0,3	0,9
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

N° 1. Verre à vitre français.
2. — belge.
3. — anglais (de la fabrique de MM. Chance, de Birmingham).
4. — à base de potasse. Très-blanc.
5. — se ternissant facilement. Très-mauvais verre.

Les matières premières servant à fabriquer le verre à vitre sont le sable, le sulfate de soude et la

chaux sous forme de carbonate ou de chaux éteinte. Dans le nord de la France et en Belgique, ces matières sont employées dans les proportions suivantes :

Sable blanc	100 parties.
Sulfate de soude.	35 à 40
Calcaire.	25 à 35
Charbon en poudre (ordinairement sous forme de coke)	1,5 à 2
Bioxyde de manganèse.	0,5
Groisil: quantité variable; ordinairement autant que de sable.	

On désigne sous le nom de *groisil*, pour toutes les espèces de verres, les déchets de verre qui résultent du travail des pièces, déchets qui facilitent la fonte et l'affinage des matières neuves qu'on introduit dans les pots.

Le calcaire (carbonate de chaux) dont on se sert dans le nord de la France et en Belgique, et qui vient de ce dernier pays, notamment de Montigny-le-Tilleul, près Charleroi, est remplacé, dans d'autres localités, par une quantité à peu près égale de chaux éteinte.

Les proportions de sulfate de soude et de calcaire dépendent de diverses circonstances qui exercent une grande influence sur l'économie de la fabrication. La température que peut atteindre le four de fusion, en raison de la qualité de la houille, de l'état de l'atmosphère, de la construction et de l'âge du four, oblige à augmenter ou à diminuer le dosage de ces matières. Si le sulfate de soude est en trop grande quantité,

le verre fond facilement; mais il devient altérable par l'humidité; si, au contraire, on augmente la dose du calcaire, celui-ci donne *du corps* au verre; il le rend plus difficilement fusible, mais il assure en même temps son inaltérabilité. Quand cette proportion dépasse certaines limites, la consommation du combustible devient trop grande; de plus, le verre tend à devenir *galeux*, par suite d'un commencement de dévitrification. La présence de la magnésie dans le calcaire paraît augmenter beaucoup cette prédisposition. Le soufflage des manchons devient alors très-difficile et doit se faire avec une grande célérité, la dévitrification marchant elle-même très-rapidement. Le maître de verrerie doit mettre tous ses soins à éviter l'un et l'autre de ces écueils : faire du verre trop tendre ou du verre trop dur.

On ajoute souvent à la composition de l'acide arsénieux, tantôt en poudre, tantôt sous forme de morceaux qu'on projette dans les pots, lors de l'affinage; cette substance ne reste pas dans le verre; elle disparaît complétement et, en prenant l'état gazeux, elle brasse la masse liquide et rend son affinage plus sûr et plus rapide; elle agit aussi comme décolorant. En Belgique, on a généralement renoncé à cette addition en n'introduisant dans les pots que des matières finement pulvérisées et blutées.

Le brassage du verre se fait aussi en plongeant à plusieurs reprises, dans le verre fondu, une perche de bois vert qu'on maintient pendant quelques instants au fond du pot; le dégagement de la vapeur d'eau pro-

duit un effet analogue à celui de l'acide arsénieux. Les Bohêmes, pour obtenir le même résultat, font usage d'une pomme de terre piquée au bout pointu et recourbé d'une longue tige de fer; dans le Nord, la pomme de terre est remplacée par une betterave.

Le mélange des matières premières, *de la composition*, se fait dans un local spécial, dans lequel les matières sont pesées ou mesurées avec soin. Il convient de mélanger à part le sulfate de soude et le charbon qu'on ajoute ensuite aux autres matières qui, à l'exception du groisil, sont réduites en poudre fine, et souvent même passées au blutoir.

Le verre à vitre présente habituellement une teinte verdâtre, facile à constater lorsqu'on en examine une feuille par la tranche. Cette teinte, qui est surtout prononcée dans les verres anglais, est due à l'emploi de sables ou de sulfate plus ou moins ferrugineux et aussi au tirage mal dirigé du four qui entraîne dans les pots de la poussière et de la cendre de houille. Les verres à base de potasse sont beaucoup moins teintés que les verres à base de soude; mais, pour les vitres et pour les glaces, ils sont plus durs à la fonte et au soufflage et d'un prix de revient trop élevé. Cette coloration verte, due *peut-être* à la formation d'une petite quantité d'outremer, substance que la soude seule peut produire, est habituellement corrigée, dans une certaine mesure, par l'emploi du bioxyde de manganèse. Ce corps doit être dans un état convenable de pureté; comme il est lui-même un colorant très-énergique qui, ajouté en proportion un peu plus forte, donne du verre rose, violet et

même noir, on ne l'emploie jamais qu'en très-minime quantité.

Les fabricants anglais ont été conduits à faire, *à pots couverts*, des verres très-blancs destinés à l'encadrement des gravures et à la photographie en employant la composition suivante :

Sable de Fontainebleau ou d'Amérique. . .	100
Carbonate de soude à 90°.	36
Azotate de soude.	5
Chaux éteinte en poudre	12
Acide arsénieux	0,5

La fonte est faite dans un four à 8 pots très-fortement chauffé. On fait rentrer chaque jour dans la composition le groisil de la veille, en écartant soigneusement les fragments de mors de canne tachés de fer. (M. Bontemps.)

Fonte et soufflage du verre à vitre.

Les *pots* ou *creusets* sont tantôt ronds, tantôt ovales; ces derniers, ayant leur grand axe perpendiculaire à la paroi du four, y tiennent moins de place.

En France et en Belgique, les pots contiennent de 500 à 600 kilogrammes de verre; ils ont de 0m,70 à 0m,85 de hauteur. En Angleterre, le travail du soufflage s'exécutant dans un four spécial, les creusets sont beaucoup plus grands; ils renferment jusqu'à 2,500 kilogrammes de verre; ils sont de forme ronde et ont jusqu'à 1m,60 de diamètre intérieur.

Le four, qui contient ordinairement 8 pots, est

construit dans une halle spacieuse dont les côtés qui font face aux ouvreaux sont, à partir de la hauteur d'appui et sur une largeur de 6 mètres environ, formés par des montants en charpente sur lesquels s'ajustent des volets qui sont fermés pendant la fonte et qu'on ouvre pendant le travail du verre.

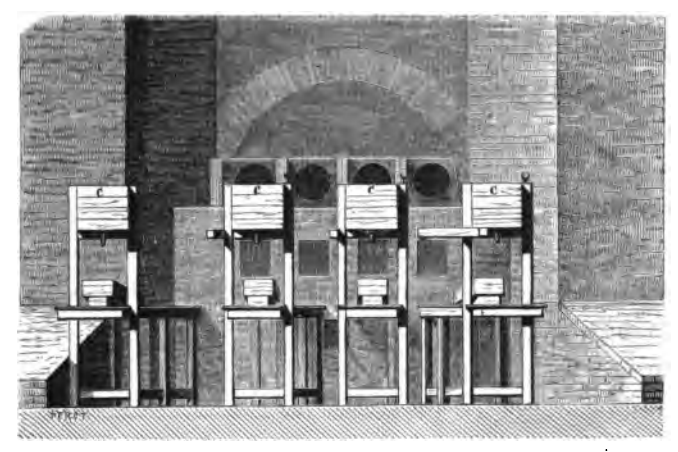


Fig. 19.

Au-dessous du sol de la halle se trouvent des galeries qui, communiquant avec le dehors, s'étendent sous la grille et lui fournissent l'air nécessaire à la combustion.

Des fours ou *arches à attremper les pots*, c'est-à-dire à les cuire et à les chauffer à une haute température avant leur introduction dans le four de fusion, sont situés dans la même halle, qui doit avoir environ 20 mètres de longueur sur 20 mètres de largeur. Les pots de verre à vitre peuvent durer deux mois et plus, si on leur donne une épaisseur suffisante; mais, d'après M. Bontemps, il est préférable de les fabri-

quer plus minces, en leur donnant une durée *certaine* de quatre à cinq semaines. Au lieu de ne les remplacer que quand ils cassent, ainsi qu'on le pratique dans le plus grand nombre des verreries, il convient de ne pas attendre qu'il y ait un creuset hors de service; à jour fixe, le samedi, par exemple, après le travail du soufflage, on tire tous les pots du four et on fait une mise entière neuve; en effet, quand on remplace un pot isolément, il est rare que cette opération ne cause pas quelque blessure à l'un des pots du voisinage qui fonctionnent encore et n'amène pas un nouvel accident. Ce système de remplacement des pots à jour fixe est avantageux surtout quand le travail est réglé de manière à accomplir en vingt-quatre heures la fonte et le soufflage, de manière à commencer le travail tous les jours à la même heure; il présente de grands avantages au point de vue de l'ordre, de la comptabilité et de la surveillance.

L'enfournement des matières est fait en trois fois : le premier exige, pour fondre, sept heures de feu; le deuxième, quatre heures; le troisième, trois heures. La fonte et l'affinage étant terminés, on laisse tomber le feu pendant une heure et demie avant de commencer le soufflage.

Pendant que le tiseur *fait sa braise*, c'est-à-dire charge la grille de charbon fin mouillé, dans le but d'abaisser la température du four et de donner au verre l'état plastique, le gamin prépare les outils, arrose et balaye la place de manière à éviter la poussière : il pose le chevalet (fig. 26) à une petite

distance de la place. Le verre étant prêt, on procède à l'écrémage qui se fait en enlevant au moyen d'un râble le verre impur qui se trouve à la surface du creuset. Le râble est une palette en fer fixée au bout d'une tige de même métal ayant 1^{m},50 à 2 mètres de longueur.

Le verre étant fondu, affiné, écrémé et ramené par un chauffage convenable à l'état de consistance voulue, à un signal donné, le travail commence. Devant chaque creuset se trouve un plancher en bois B (fig. 19, 20, 23) qui repose sur des pieux en bois ou sur des piliers en fonte ou en pierre; cette estrade est à 2^{m},50 ou 3 mètres au-dessus du sol de la halle.

Chaque *place* est desservie par un souffleur et par

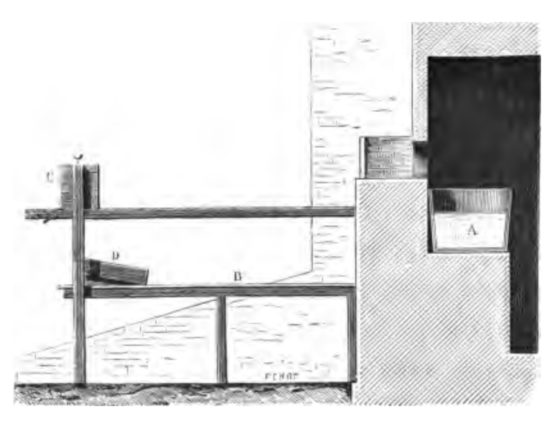


Fig. 20.

un aide qu'on désigne dans toutes les verreries sous le nom de *gamin*.

Avant de décrire l'opération du soufflage, il importe de connaître les outils très-simples qui sont

dans la main de tous ouvriers qui travaillent le verre.

L'outil principal est *la canne*. Son emploi pour le travail du verre remonte à la plus haute antiquité. La canne est figurée sur des monuments égyptiens qui remontent à plus de quatre mille ans.

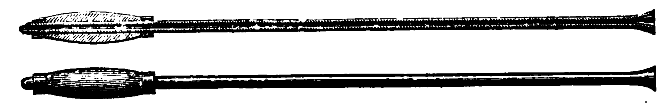


Fig. 21.

La canne est un tube creux en fer terminé par une partie renflée (fig. 21). Sa dimension varie avec le poids des pièces de verre à fabriquer. Les ouvriers qui faisaient autrefois en Bohême les glaces soufflées se servaient de cannes ayant au moins 3 mètres de longueur; les cannes de ceux qui soufflent les petits ballons qu'on découpe pour faire les verres de montre ont à peine un mètre. Pour la confection des manchons ordinaires, la canne a environ $1^{m},60$ de long. Elle pèse 6 à 8 kilogrammes. A une petite distance de son embouchure, qui est légèrement amincie et arrondie par le bout, est fixé un manchon en bois tourné ayant $0^{m},30$ à $0^{m},40$ de longueur; il a pour objet de permettre à l'ouvrier de manier cet outil sans se brûler. Chaque souffleur dispose de 8 à 10 cannes.

Une palette en fer de $0^{m},18$ de long sur $0^{m},06$ de large, avec un manche de $0^{m},14$, sert à parer le verre au commencement du travail (fig. 22, c).

Des ciseaux à manche plus ou moins longs (D) sont employés pour découper le verre quand il est à

l'état plastique; des pincettes en petit fer carré de 0m,008 à 0m,010 servent à divers usages; pour le travail des pièces de gobeleterie les branches de ces pincettes sont en bois (fig. 22, E).

Une tige en fer carré, d'une longueur de

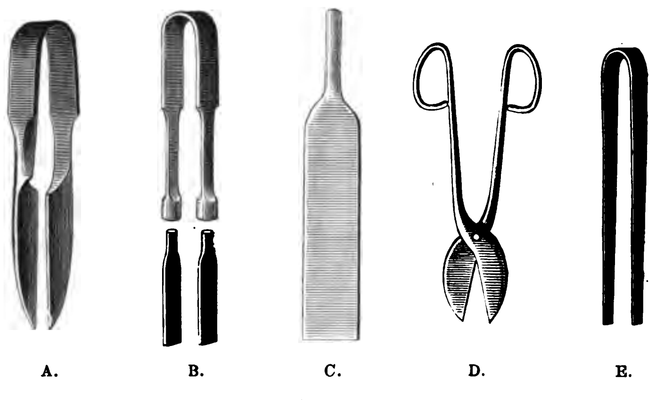


Fig. 22.

0m,45, recourbée à angle droit à l'une de ses extrémités, qu'on nomme *le pic*, sert à *glacer*, à refroidir le col du manchon à détacher de la canne. Plusieurs blocs creusés en forme de cuvette, en bois de poirier, de pommier ou de hêtre, servent à souffler *la boule* du manchon; ces blocs sont employés étant mouillés (fig. 20 D).

La canne étant bien propre, bien exempte du verre provenant du travail antérieur, est chauffée à la température du rouge sombre au petit ouvreau; le souffleur la plonge dans le creuset. A la surface du verre fondu flotte une couronne en argile qui permet d'éviter les filandres et de *cueillir*, dans la partie centrale du creuset, du verre homogène et bien affiné.

L'ouvrier retire la canne dont l'extrémité, le *mors* est *enverré* d'environ 200 grammes de verre : il la tourne de manière à rendre le verre plus pâteux; puis il fait un deuxième cueillage de manière à ce que la quantité du verre soit de 6 à 700 grammes; la canne est tournée horizontalement, reposant sur les deux arêtes du baquet en fonte; avec la palette (fig. 22, c), il arrondit le cueillage et il commence à souffler légèrement pour déboucher la canne et introduire un peu d'air dans la masse vitreuse. Il fait ensuite un troisième cueillage et même un quatrième, si les manchons sont de grande dimension, devant avoir 1^{m},11 sur 0^{m},69. Pour ces manchons, le poids du verre employé est d'environ 5 kilogrammes.

La canne, après avoir été rafraîchie, est posée près du verre sur le crochet (fig. 20, c) et tournée de manière à ramasser à son extrémité le plus de verre possible; la *paraison* est ensuite arrondie par un lent mouvement circulaire qu'on donne à la canne, la masse vitreuse étant placée dans le bloc creux de bois mouillé; l'ouvrier lui donne ainsi la forme d'une poire très-allongée; il relève sa canne de manière à lui laisser une certaine inclinaison, en laissant toujours le verre dans le bloc que le gamin continue à mouiller; ce dernier fait couler aussi un petit filet d'eau sur le col qui commence à se former.

Le col étant fait, l'ouvrier souffle de manière à faire une sphère d'un diamètre de 0^{m},22 environ; il balance sa canne, puis il la relève de manière à

ramasser le verre; soufflant plus fortement, à plusieurs reprises, après avoir réchauffé la pièce à l'ouvreau, il donne à la canne un mouvement de va-et-vient, comme celui d'un battant de cloche, de manière à allonger la pièce qui prend une forme cylindrique; il la relève vivement au-dessus de sa tête, puis lui fait subir un mouvement complet et rapide de rotation, dans le but de l'allonger et de lui donner une épaisseur égale dans toutes ses parties. Pour cette dernière opération, le verre, devenu trop dur pour arriver à la dimension voulue, est réchauffé à l'ouvreau, la canne reposant sur le crochet de place fixé à sa gauche; le manchon n'est pas trop enfoncé dans le four, afin de ne pas en ramollir la partie qui a déjà une épaisseur convenable.

Il s'agit maintenant d'ouvrir l'extrémité du manchon qui vient d'être soufflé : on obtient ce résultat de diverses manières : si le verre est mince, la canne avec son manchon est posée sur un crochet tournant fixé à la paroi du four ; le bout étant chauffé et suffisamment ramolli, on souffle et on ferme avec la main l'embouchure de la canne; par la dilatation de l'air le verre cède et éclate dans cette partie; le manchon est poussé un peu plus avant dans le four et on le tourne assez rapidement pour élargir l'ouverture et pour la rendre cylindrique.

Lorsque le manchon est plus épais, on applique à son extrémité une certaine quantité de verre très-chaud que le gamin apporte au bout d'une cordeline : le maître ouvrier ferme l'embouchure de

la canne avec la paume de la main et fait entrer la moitié du manchon dans l'ouvreau; l'air, en se dilatant, se fraye un passage par la partie la plus ramollie, c'est-à-dire par celle qui a reçu ce verre

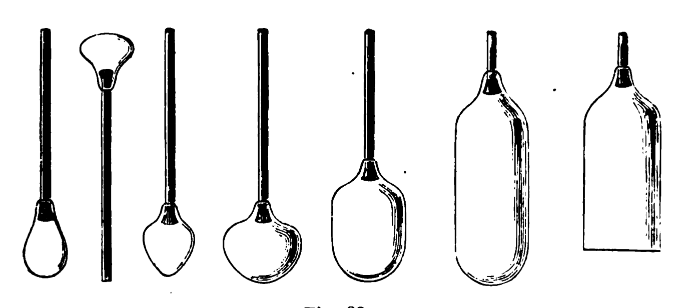


Fig. 23.

chaud; en balançant la canne, les bords du trou s'élargissent; ou bien la canne étant sur l'un des bords du baquet dans une position inclinée, le gamin rogne le verre avec des ciseaux à long manche de manière à lui donner la forme cylindrique.

Un autre système consiste à percer avec une pointe en fer le bout du manchon convenablement ramolli à l'ouvreau; par le mouvement de balancement l'ouverture s'agrandit; on pare la pièce avec une sorte de palette en bois; les bords s'écartent et la calotte, qui terminait le cylindre, se trouve effacée.

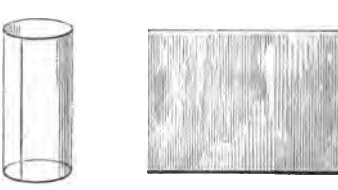


Fig. 24

La figure 23 représente les diverses phases de la confection d'un manchon. La figure 24 représente le

manchon rogné, fendu et étendu par les procédés qui seront décrits ci-après.

Le soufflage du verre à vitre exige de la force, de l'adresse et une très-grande habitude. Les manchons ou *canons* ordinaires pèsent 2 kilogrammes environ ; mais le poids varie beaucoup avec l'épaisseur; néanmoins il est rare qu'on fabrique des feuilles exigeant des paraisons pesant au delà de 10 à 15 kilogrammes. Les manchons de $3^{m},30$ sur $0^{m},20$, de $2^{m},75$ sur $0^{m},32$; des feuilles étendues de $2^{m},90$ sur $0^{m},81$, avec une épaisseur de $0^{m},004$, pesant 24 kilogrammes et tirées d'une paraison de 30 kilogrammes, qu'on voyait à l'Exposition universelle de 1867, ne peuvent être considérées que comme des tours de force, de la nature de ceux qu'on rencontre souvent dans les expositions industrielles. Pour ces pièces exceptionnelles, l'eau vient en aide au souffle de l'ouvrier : à cet effet, lorsque le manchon est en partie formé, le souffleur y projette une petite gorgée d'eau; celle-ci, en se gazéifiant, dilate considérablement le verre au moment où l'embouchure de la canne est bouchée avec la main; parfois il remplace l'eau par de l'eau-de-vie; mais parfois aussi, au troisième manchon, il tombe dans un complet état d'ivresse.

Dans quelques verreries de la Belgique, le soufflage est rendu moins pénible par l'emploi d'un petit chariot monté sur rails qui porte la canne et qui permet d'en diriger le fonctionnement avec moins de fatigue. Les ouvriers qui fabriquent en Bohême des glaces soufflées de grandes dimensions ont à manier des masses de verre pesant 80 à 100 kilogrammes :



Fig. 25. — Fabrication du verre à vitre.

ce n'est qu'en s'aidant de leviers, de grues, de potences et d'autres moyens mécaniques qu'ils peuvent exécuter leur travail.

Un souffleur fait, par heure, 9 à 10 manchons qui fournissent des feuilles de 111 sur 69 centimètres, du poids moyen de 4 kilogrammes; ou bien 16 à 17 manchons de 69 sur 54 centimètres, c'est-à-dire d'une superficie moindre de moitié environ.

On fabrique trois sortes de verres à vitre; le plus mince est le verre *simple* dont l'épaisseur est de $0^m,0015$ à $0^m,002$; celle du verre *double* est comprise entre $0^m,003$ et $0^m,004$; pour le verre *triple* elle est de $0^m,006$ à $0^m,008$. Ce dernier produit est assez peu employé; il rencontre dans le commerce la concurrence des glaces coulées dont l'épaisseur est sensiblement la même et dont le prix, eu égard à la qualité, n'est pas beaucoup plus élevé.

Lorsque le manchon est *ouvert* à son extrémité, il s'agit de le détacher de la canne, de séparer la calotte qui le termine et ensuite de le *fendre* dans le sens de sa longueur.

Dans ce but, le gamin qui a pris la canne des mains du souffleur pose le manchon sur le chevalet (fig. 26), il applique un fer froid (*le pic*) sur un point du col adhérent à la canne de manière à y produire une petite fente qui s'étend par suite de légers chocs; la canne, séparée du manchon, passe aux mains du souffleur qui procède à la confection d'un autre manchon; pendant qu'il fait ses premiers cueillages, après avoir, au besoin, écrémé le verre de son creuset, le gamin porte sur une étagère les

manchons refroidis dont on aura plus tard à enlever la calotte, c'est-à-dire la portion rétrécie qui adhérait à la canne.

Les manchons qui doivent fournir le verre simple

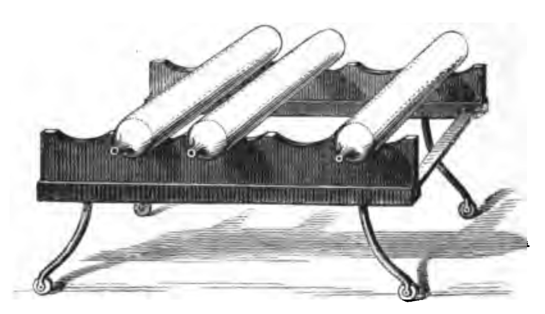


Fig. 26.

n'ont pas besoin d'être recuits pour être *fendus;* il n'en est pas de même pour les deux autres sortes de verres : en raison de leur épaisseur et de leur brusque refroidissement, ils sont fortement trempés et ils éclatent souvent. Aussi, quand le manchon est détaché sur le chevalet, un ouvrier l'enlève avec une perche et le porte sur un autre chevalet en fer dans un four à recuire chauffé au rouge-brun ; il y séjourne pendant quinze minutes : on le laisse ensuite refroidir auprès du four, en l'abritant des courants d'air.

Pour couper les calottes ou bonnets, le gamin pose deux manchons sur un petit support mobile, à proximité du four : au moyen d'une règle en bois, il indique la longueur que doit avoir le cylindre : avec une cordeline, le souffleur prend au fond du pot un peu de verre qu'il pare et qu'il laisse s'allonger par son propre poids ; il en saisit l'extrémité avec

une pincette et il l'étire de manière à en former un cordon dont il enlace le manchon à la place indiquée; en touchant cette place avec une pincette mouillée, la calotte se détache et tombe dans une caisse placée au bout du chevalet.

Dans d'autres verreries, l'ouvrier souffleur détache lui-même les manchons et en coupe les calottes au fur et à mesure de leur confection. En suivant cette méthode, les ouvriers, aussitôt qu'ils ont soufflé tout le verre contenu dans les pots, peuvent se retirer et ne gênent pas l'équipe des fondeurs qui ont à procéder sans retard au réchauffage du four. (M. Bontemps.)

Le manchon, rogné aux deux bouts, présente actuellement la forme d'un cylindre; il s'agit de le *fendre* de manière à pouvoir le transformer ensuite en une surface plane, en une feuille de verre.

Le fer à fendre est une tige de fer rond d'environ 1^{m},50 de longueur sur 0^{m},025 de diamètre, légèrement infléchie vers son milieu. Un de ses bouts étant chauffé au rouge, on le promène dans toute la longueur du manchon, en suivant exactement l'arête sur laquelle repose le cylindre, arête qu'on saupoudre quelquefois avec un peu de houille pulvérisée. Quand on commence ce mouvement de va-et-vient, on a soin de ne toucher les deux extrémités que lorsque le milieu est déjà chaud : en mouillant légèrement le verre à l'entrée du passage du fer, la fente se produit et se développe dans toute la longueur du cylindre.

Dans quelques verreries belges, on fend les man-

chons en promenant dans leur intérieur un diamant fixé à l'extrémité d'une longue tige qui agit sur une arête du cylindre le long d'une règle en bois. En produisant ainsi une fente plus régulière, on a moins de déchet lorsque la feuille de verre, après l'étendage, est équarrie au diamant.

Un manchon qui n'a pas été recuit offre cette particularité que si on vient à en ouvrir la fente par une pression exercée par les deux mains et si on cesse ensuite cette pression, ses deux lèvres se croisent l'une sur l'autre; ce qui est la conséquence de l'état de dilatation que présente le verre trempé; ce caractère ne se présente plus pour les manchons qu'on a fait recuire; les deux bords reprennent leur première position.

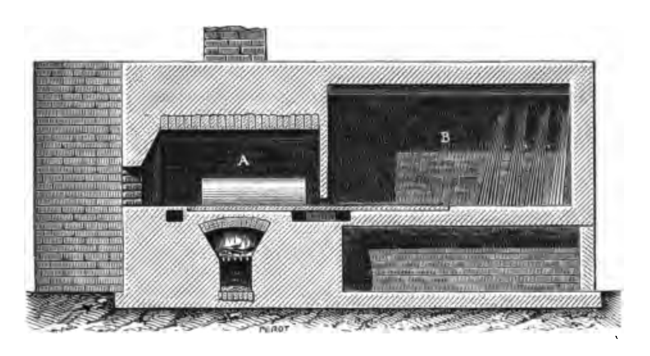
Étendage des manchons.

Pour transformer les manchons *rognés* et *fendus* en une feuille de verre *plane*, il faut maintenant les chauffer à une température suffisante pour les ramollir; leurs bords s'affaissent et s'écartent : par une sorte de laminage, le verre se transforme en une surface plane.

Cette opération se fait dans un four spécial, dit *four à étendre*.

La construction de ce four a subi depuis une trentaine d'années d'importantes améliorations. Le plus ancien, celui que représente la figure 27, est une sorte de four à réverbère, chauffé par la flamme d'un foyer latéral et divisé en deux chambres conti-

gués, A et B (fig. 27), qui sont séparées par un mur qui s'étend depuis la voûte jusqu'à la sole. Au bas de ce mur se trouve ménagée une ouverture de 1 mètre de largeur sur 12 centimètres de hauteur; elle est destinée au passage des vitres planées.



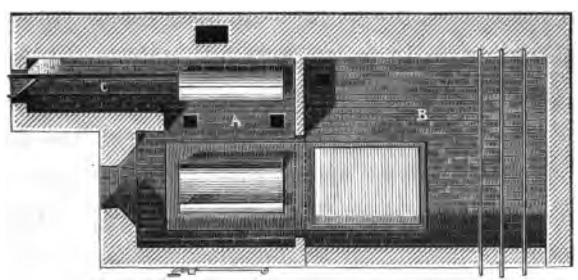


Fig. 27.

Ce four étant chauffé au rouge sombre, on y introduit les manchons par une galerie latérale C dans laquelle ils cheminent lentement sur deux barres de fer rond qui supportent une tôle recourbée sur laquelle repose le manchon à étendre. En poussant cette tôle avec la tige de fer qui lui est adaptée, ce manchon arrive vers le centre, et s'y trouve bientôt porté à la température du rouge sombre. Amené à

l'aide d'une longue tige de fer sur le *lagre*, qui est une feuille de verre épaisse posée sur une plaque de terre réfractaire, ses bords s'écartent sous la légère pression exercée sur eux avec une perche de bois; un rabot en bois blanc mouillé ou *polissoir*, qu'on promène à sa surface, achève de planer la feuille; celle-ci est aussitôt poussée dans le second compartiment B dont la température est moins élevée. Lorsqu'elle est suffisamment rigide, elle est placée de champ, au moyen d'une fourche en fer, contre la paroi du four. On a soin de disposer, de distance en distance, des barres de fer ponr appuyer de nouvelles vitres, afin que celles-ci ne chargent pas trop celles qui les ont précédées. Quand le four est plein, on enlève le combustible, on en bouche toutes les ouvertures et on le laisse refroidir pendant plusieurs jours. C'est ainsi que ces verres sont *recuits*.

Sur la surface du *lagre* on projette un peu de gypse ou de sulfure d'antimoine moulu très-fin, dans le but d'empêcher l'adhérence des vitres qu'on y étend; ou bien on jette de temps à autre sur le combustible une petite quantité de chaux, qui, entraînée avec les produits gazeux de la combustion, se répand dans le four et amène le même résultat. Ce four est fumivore lorsqu'on laisse ouverte la porte du foyer; mais le verre se dévitrifie plus facilement; la flamme doit être fumeuse.

En poussant la feuille étendue dans le second compartiment, on risque de la déformer ou de la rayer, à moins d'y pousser le lagre lui-même et de le ramener ensuite sur la pierre à étendre; mais

en procédant ainsi, on perd beaucoup de temps et le lagre se trouve bientôt hors de service; de plus, l'intermittence du travail, en raison de la nécessité de laisser refroidir le four pour recuire les feuilles de verre, entraîne à une grande dépense de combustible.

Quand le lagre a servi pendant quelque temps, de trois à six heures, il se dévitrifie; sa surface devient assez rugueuse pour altérer le verre avec lequel il est en contact; on le remplace par un neuf.

Ces nombreux inconvénients ont fait abandonner presque partout cet ancien système d'étendage. Nous avons à faire connaître les appareils qui l'ont remplacé.

Four à pierres tournantes. — M. Hutter, de Rive-de-Gier, a construit, en 1826, un four *à pierres tournantes*, composé de quatre pierres à étendre fixées sur un plateau circulaire horizontal; ce plateau se meut sur un pivot central portant engrenage; il est mis en mouvement par une petite roue extérieure au four. Une première feuille étant étendue sur la pierre A (fig. 28), on fait tourner le plateau de manière à ce que A vienne en B et soit remplacé par la pierre D; on étend en D une deuxième feuille; par un nouveau mouvement, D arrive en B; la première feuille arrive par conséquent en C, suffisamment

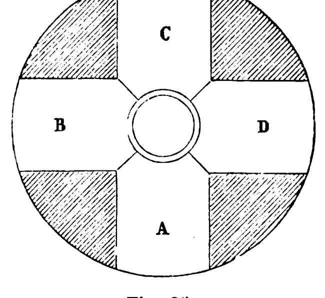


Fig. 28.

refroidie pour être relevée à la fourche et introduite dans le four à dresser.

Avec ce système, d'un mécanisme difficile à entretenir en bon état, on avait aussi l'inconvénient de consommer beaucoup de combustible; car il fallait encore, lorsque le four à dresser était plein, se servir d'un autre four; il fut amélioré par l'emploi d'une *arche à tirer*, de 12 à 15 mètres de longueur, dont l'entrée pour les chariots ou ferrasses se trouvait en communication avec la trompe par laquelle on entre les manchons.

Four à pierres roulantes. — En Belgique et dans le nord de la France, les systèmes de fours *à pierres roulantes* sont ceux qu'on emploie le plus habituellement (fig. 29).

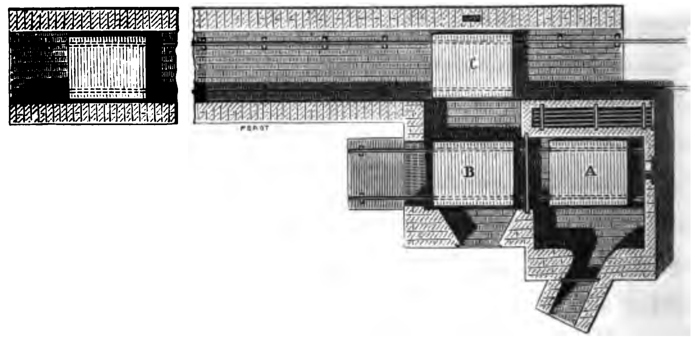


Fig. 29.

Dans ce four, le *stracou* et l'*arche* sont contigus, séparés seulement par deux plaques en terre réfractaire, entre lesquelles un intervalle est ménagé pour le jeu d'une bascule que l'ouvrier baisse pour main-

tenir la température du premier fourneau, du *stracou*, et qu'il soulève pour donner passage au chariot à étendre.

Le verre est étendu sur la plaque mobile A sur laquelle se trouve le lagre, les manchons arrivant par la galerie, *la trompe*, qui débouche dans ce compartiment du four. Cette plaque, munie de la feuille de verre planée, est poussée sur des rails dans l'autre partie du four, l'*arche*, qui est moins chaude; elle y occupe la place B. Le verre étant assez froid, on l'enlève avec une longue fourche en fer et on le dépose à plat sur un chariot en tôle C, qui reçoit 8 à 12 feuilles et qui se meut sur des rails dans une galerie à recuire d'une longueur de 15 à 20 mètres. Les chariots sont reliés les uns aux autres par des crochets; ils entrent vides par l'ouverture placée près de la grille et sortent pleins et presque froids à l'autre extrémité.

Ce four présente un sérieux inconvénient: lorsque la feuille étendue est poussée avec sa pierre en B, il faut attendre un certain temps pour faire revenir celle-ci, après avoir enlevé et porté en C dans l'arche à recuire la feuille suffisamment refroidie. C'est cette perte de temps que M. J. Frizon a cherché à éviter en remplaçant immédiatement par une pierre libre la pierre sur laquelle le manchon vient d'être étendu.

Ce four (fig. 30) contient deux pierres roulantes portées sur des chariots mobiles, qui occupent successivement les positions A, B, C, D dans le *stracou* (partie antérieure du four où se fait l'étendage) et

dans l'*arche*. Dans celle-ci se trouve une plate-forme roulant sur des rails et mise en mouvement par un système d'engrenages commandé du dehors par une roue à barre ou à manivelle.

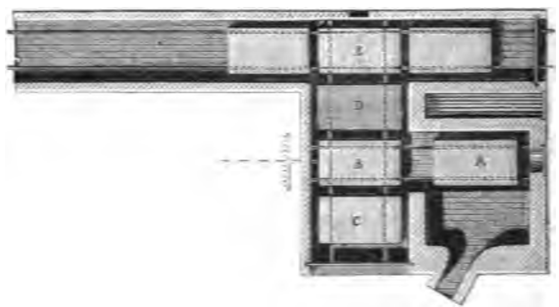


Fig. 30.

Le manchon, qu'on entre par la trompe, est transporté et étendu sur la pierre mobile A; celle-ci est poussée dans l'arche et y occupe la place B; par l'action de la manivelle, elle vient se placer en D, tandis que la seconde pierre C, par un double mouvement rectangulaire, arrive en B et remplace la pierre A; elle sert à étendre un second manchon; la pierre qui est en D, après l'enlèvement de la feuille platée qu'on introduit sur le chariot E se trouvant dans la galerie à recuire, revient en C pour fonctionner de la même façon que pour le premier manchon; la seconde pierre suit la même marche que la première.

Les deux pierres à étendre sont de même dimension, et montées sur des roues en fonte qui reposent sur les rails.

Le four à *pont mouvant* de M. Segard, d'Anzin, se

compose essentiellement de deux chariots, qui portent chacun une pierre à étendre. La disposition générale du four étant la même que celle représentée figure 29, les dessins (fig. 31 et 32) ne donnent que

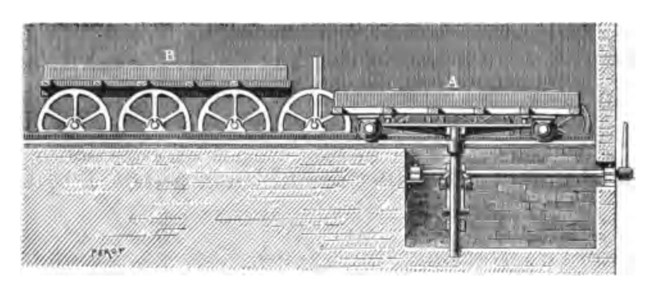


Fig. 31.

les deux pierres roulantes et le mécanisme pour les manœuvrer.

Le chariot B, portant sa pierre à étendre, se meut sur des roues fixes au moyen de rails qui y sont adaptés. Le chariot A, qui a aussi sa pierre, se trouve à 15 centimètres au-dessous du chariot B, sous lequel il doit passer; il se meut au moyen de ses roues.

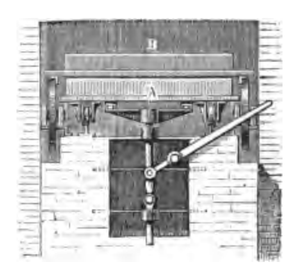


Fig. 32.

Pour étendre les manchons, le chariot A étant dans le four à refroidir, on fait l'étendage sur le chariot B. Aussitôt qu'il est terminé, on pousse ce chariot avec un crochet dans le second compartiment. Le chariot A revient; avec un levier en fer, on l'élève de 15 centimètres avec la plate-forme sur laquelle il est venu se placer de

manière à se trouver à la même hauteur que le chariot B. On y place le manchon à étendre : pendant qu'il s'ouvre, on enlève avec une fourche la feuille qu'on vient de platir pour la poser sur un chariot en tôle qui se trouve dans la galerie contiguë.

Le nouveau manchon étant étendu, on abaisse le chariot sur ses rails, on le renvoie dans le four à refroidir, et on amène par-dessus le chariot supérieur B sur lequel on étend une autre feuille de verre.

Par ce système on étend 600 manchons par 24 heures, avec une consommation de 10 hectolitres de houille; ce travail est fait par deux étendeurs, deux tireurs de chariot et deux enfants. La dépense est moitié de ce qu'elle est avec le four à une seule pierre roulante. Mais ce système a l'inconvénient d'occasionner le bris fréquent des pierres à étendre, par les chocs inévitables que produit la manœuvre du levier.

Four à refroidir le verre à vitre de M. Bievez. — Un perfectionnement important a été apporté, depuis quelques années, au four à recuire le verre, après que les manchons ont été étendus; il est dû à un ancien ouvrier belge, M. Bievez, de Haine-Saint-Pierre.

L'étendage se fait par l'un des systèmes précédemment décrits, le plus souvent par le système à pierres roulantes. Le four à refroidir est placé contre le four à étendre, ou bien à son extrémité. Dans le diagramme (fig, 33), qui n'a pour objet que de faire com-

prendre la manœuvre de ce four, les manchons entrent en *c*; *a* est la place de l'étendeur; *b*, *b'* les foyers; *e* la feuille de verre étendue sur le chariot mobile qu'on pousse ensuite dans l'arche, à la place

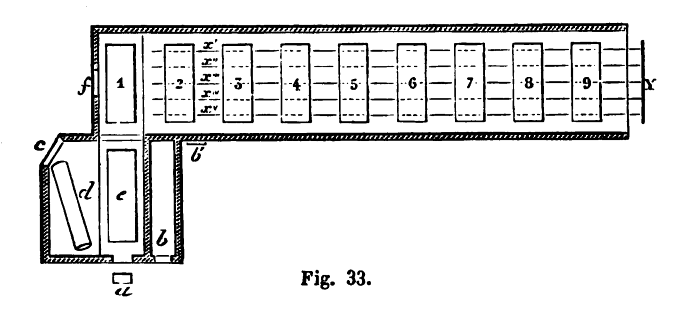


Fig. 33.

n° 1. L'étendeur se rend alors à l'ouverture *f* et au moyen d'une courte fourche fait glisser la feuille dans le premier compartiment du four Bievez, à la place 2.

Dans la sole de cette galerie, faite en terre réfractaire, se trouvent cinq ou six rainures longitudinales, dans lesquelles sont des barres de fer reliées à l'extrémité et en dehors de la galerie par une tringle horizontale Y qui leur est perpendiculaire; ces barres sont guidées par des glissières en fonte fixées dans la partie latérale des maçonneries du four: étant équilibrées par des contre-poids, un léger effort suffit pour les soulever. Cette série de tringles en fer, posées dans les gorges de ces galets et réunies par une traverse à l'ouverture du four, peut recevoir un mouvement horizontal. L'appareil, étant en repos, se trouve noyé dans les rainures pratiquées dans la sole à refroidir.

L'étendeur ayant posé à plat, à l'entrée de la sole,

la feuille à refroidir, une seconde feuille est étendue; on lève, pour lui faire place, la série de châssis au moyen d'un levier; la première feuille se trouve sou-

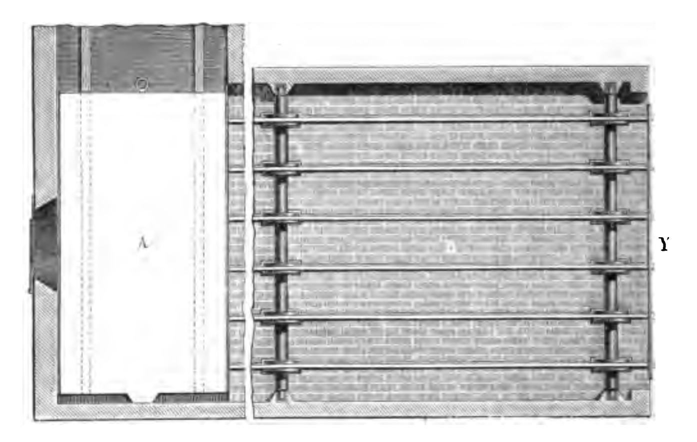


Fig. 34.

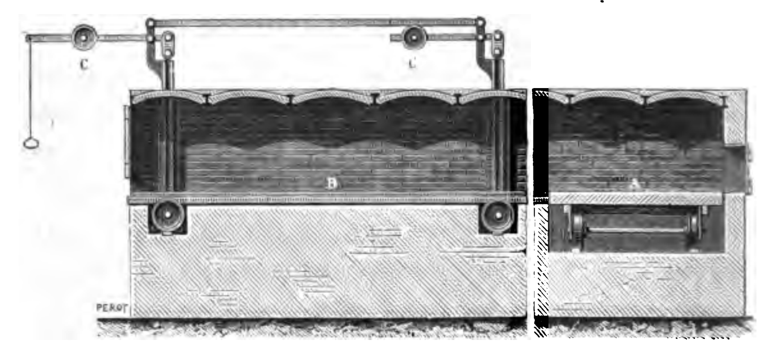


Fig. 35.

Légende.

A, pierre roulante sur laquelle se trouve la feuille de verre étendue.

B, sole du four à recuire avec les tiges de fer mobiles et les galets sur lesquelles elles se meuvent.

C, bras de levier pour soulever les galets.

La poignée en fer pour faire avancer et reculer les tiges est représentée dans le diagramme. (Fig. 33.)

levée; elle est soutenue par les tringles horizontales x', x'', x''', etc. (fig. 33), formant une sorte de grillage pouvant se mouvoir sur les galets.

On imprime alors à ces tringles, qui sont olidaires entre elles, un mouvement longitudinal d'une quantité égale à un peu plus de la largeur d'une feuille de verre; puis on les laisse descendre dans les rainures; la première feuille repose de nouveau sur la sole, en occupant la place 3. En repoussant la série de tringles, celles-ci reprennent leur première position; l'étendeur a donné en conséquence à la deuxième feuille la place qui était occupée par la première; on en étend une troisième : la même manœuvre fait passer la première feuille à la place 4, la deuxième à la place 3 et rend la place 2 libre pour recevoir la troisième feuille qu'il vient d'étendre; on procède de la même façon jusqu'à ce que les feuilles parviennent à l'extrémité de la galerie ; au fur et à mesure de leur arrivée, elles sont enlevées par un ouvrier, après avoir subi un refroidissement graduel, plus efficace, quoique plus rapide, que celui qu'on obtient dans les fours à recuisson dont on avait fait usage jusqu'alors.

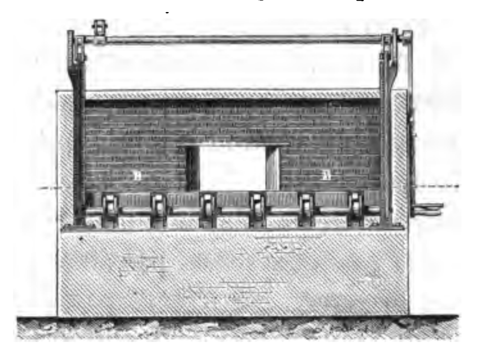


Fig. 36.

Les figures 34, 35 et 36 représentent diverses coupes du four Bievez.

Ce four ne contient que 9 feuilles, qui sortent ainsi de la galerie après 20 à 30 minutes, au lieu de 7 à 8 heures qu'exigeaient les anciens systèmes.

La coupe du verre ainsi recuit est plus douce. M. Léon Renard, de Fresnes, qui se loue beaucoup des fours Bievez, auxquels il a apporté plusieurs améliorations, attribue ce résultat au soulèvement successif de chaque feuille, qui permet un refroidissement égal des deux faces. La planimétrie du verre est également meilleure, et le *glaçage*, c'est-à-dire la casse du verre, par suite d'un refroidissement trop brusque, qui s'élève parfois à 10 °/₀, se trouve presque entièrement supprimé. Un enfant suffit à la manœuvre de deux fours fonctionnant en même temps; enfin, ce système, qui constitue un progrès très-réel dans la fabrication du verre à vitre, est d'une installation moins coûteuse et réalise en même temps une notable économie en ce qui concerne la consommation du combustible.

Quel que soit le mode d'étendage, les feuilles de verre présentent le plus souvent une irisation plus ou moins apparente, due à un commencement de dévitrification, qui devient plus sensible lorsque ces feuilles sont emmagasinées dans des locaux humides: dans quelques verreries de Belgique, le verre est lavé à l'eau avant d'être emballé. M. L. Renard plonge chacune des feuilles, au sortir de la galerie à recuire, dans une auge en bois qui renferme de l'acide chlorhydrique très-dilué; après lavage et dessiccation, le verre est devenu beaucoup moins altérable à l'air.

Les feuilles sont portées au magasin, classées en quatre *choix*, selon leurs défauts, découpées au diamant sur une grande table en bois sur laquelle se trouvent tracées des divisions en centimètres ou, dans les pays étrangers, en pouces anglais ou allemands. En France, les mesures courantes, au nombre de douze, sont comprises entre 63 centimètres sur 60 et 120 sur 27, avec bonification de 6 centimètres sur chaque dimension. La plus usuelle est 69 sur 54. L'emballage se fait avec de la paille dans des caisses à claire-voie, contenant, selon les pays, 60, 90 et 120 feuilles.

Fabrication du verre à vitre en plateaux.

Le verre *en plateaux, en plats ou à boudines,* qu'on nomme aussi verre *en couronne* (*crown glass* des Anglais, *moon glas*, verre de lune, des Allemands) n'est plus fabriqué en France depuis la fin du XVIIIe siècle; la dernière verrerie qui en ait fait était située près d'Abbeville, en Normandie. Il a été remplacé par le verre fait par le procédé des cylindres. Celui-ci offre, en effet, sur le verre en plateaux, des avantages nombreux et importants : ses dimensions sont beaucoup plus grandes; son épaisseur est plus égale; l'équarrissage et la division des feuilles ne produit que peu de déchet; sa planimétrie est beaucoup meilleure. Les carreaux de verre en plats sont toujours plus épais dans la partie qui avoisine le centre du plateau dont on l'a tiré que sur les bords; le noyau auquel adhérait le pontil est assez saillant pour entraîner à

lui seul un déchet considérable; en outre, la surface de chaque carreau est toujours plus ou moins gauche, plus ou moins ondulée, ce qui tend à déformer les objets qu'on regarde à travers les vitres qu'il fournit. Ce défaut de planimétrie est si bien établi, qu'une coutume anglaise, m'a-t-on dit sérieusement en Angleterre, permet de récuser un témoin qui n'a vu qu'à travers un carreau de vitre le fait sur lequel il vient déposer en justice.

D'un autre côté, l'éclat de ce verre est toujours plus grand que celui du verre fait par le procédé des cylindres, ce dernier étant plus ou moins rayé, martelé, sali ou dévitrifié par l'étendage qu'on lui fait subir. Le brillant et la propreté des vitrages sont remarqués par toutes les personnes qui vont en Angleterre. Ces qualités, jointes à la fabrication défectueuse du verre en manchons telle qu'elle exista longtemps dans ce pays, expliquent la préférence que les Anglais accordèrent et accordent encore à leur *crown glass*. Ce n'est, en effet, que depuis un assez petit nombre d'années que le verre en cylindres de belle qualité est fabriqué chez nos voisins d'outre-Manche. Cette industrie y a été importée, à la suite de la crise industrielle de 1848, par M. Bontemps, ancien directeur de la verrerie de Choisy-le-Roi, auquel l'art de la verrerie doit d'importants perfectionnements. M. Bontemps a été pendant une dizaine d'années directeur des importantes verreries de MM. Chance, de Birmingham [1].

1. M. Bontemps a publié en 1868 le *Guide du Verrier;* ce livre

Les matières premières qu'on emploie pour fabriquer le verre en plats sont les mêmes que pour le verre à vitre ordinaire; néanmoins ce verre doit être *plus doux*, résultat qu'on obtient en augmentant la dose de bases terreuses. La disposition des fours de fusion et des creusets est également la même. Ces fours ne servent que pour la fonte; le travail se fait dans des fours accessoires.

Lorsque la matière est convenablement fondue et affinée, elle est écrémée, non avec un outil en fer, mais avec une sorte de sabre façonné avec le verre lui-même; l'ouvrier commence le soufflage. Il cueille à plusieurs reprises avec sa canne assez de verre pour faire une pièce de dimension ordinaire; il allonge la paraison; il la roule sur une large plaque de fer bien polie de manière à la rendre cylindrique et il souffle pour lui donner la forme d'une poire. En chauffant la pièce et en soufflant de nouveau, il augmente ses dimensions et il lui fait prendre une forme presque sphérique; une troisième chauffe suivie d'un nouveau soufflage augmente son volume aux dépens de son épaisseur.

La paraison ainsi préparée représente un poids de 8 à 9 kilogrammes : elle fournira un disque pesant environ 7 kilogrammes.

L'ouvrier commence, en même temps, à former *la boudine ou bouton*, en roulant la canne sur le bord du marbre et en incisant ce bouton le long d'une barre de fer placée horizontalement au-dessous du

est assurément le plus utile, le plus complet qui ait été fait sur l'industrie du verre.

marbre ; il *tranche* ensuite le verre près de l'extrémité de la canne en le promenant entre deux galets mobiles et tangents qui y produisent un sillon régulier tracé à l'endroit où le verre sera plus tard séparé de la canne.

La pièce, réchauffée à l'ouvreau d'un autre four,

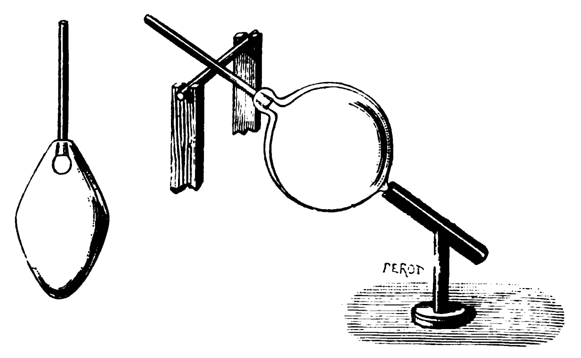


Fig. 37.

est soufflée en appuyant la canne sur un support, tandis qu'un gamin maintient contre le bouton une pièce de fer qui en limite l'étendue et l'épaisseur (fig. 37).

La paraison a maintenant la forme d'un grand globe qu'on réchauffe dans un large ouvreau, et qu'on développe encore par le soufflage à la grandeur voulue. La canne repose horizontalement sur un crochet mobile qui la maintient devant la flamme ; elle reçoit sur ce crochet un mouvement rapide de rotation sur son axe qui donne à la paraison la forme d'un cylindre aplati.

Pour *empontiller* cette pièce, un autre ouvrier a ramassé une petite quantité de verre fondu à l'extrémité d'une tige de fer pleine, d'un *pontil;* ce

verre est pressé contre une pointe de fer de manière à présenter une forme convexe; puis il est appliqué dans la partie centrale sur le bouton qui fait saillie, auquel il adhère solidement. En touchant le verre avec un corps froid près de son point de contact avec la canne, celle-ci s'en trouve séparée et y laisse une ouverture circulaire d'environ 5 centimètres de diamètre.

Le verre, fixé solidement sur son nouveau support, et bien ramolli au petit ouvreau dans sa partie ouverte, qui est plus épaisse, est placé sur le crochet devant un grand ouvreau ayant environ 1m,20 de diamètre; il y est introduit au milieu d'un immense cercle de flammes et chauffé jusqu'à ce

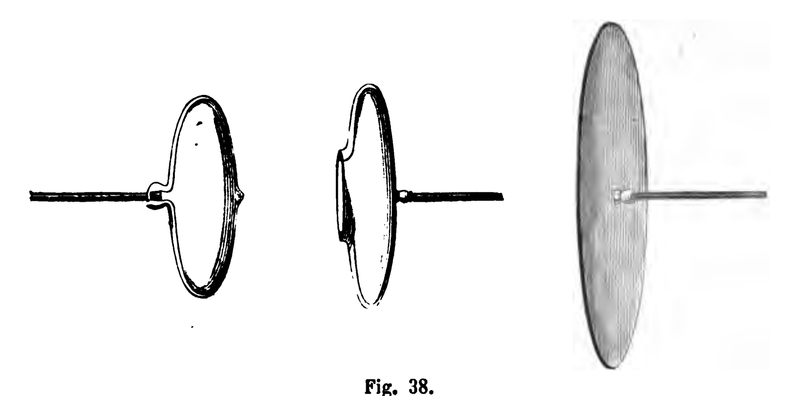


Fig. 38.

qu'il devienne suffisamment ductile pour le changement subit de forme qu'on va lui donner.

L'ouvrier tourne alors avec adresse le pontil dans sa main, d'abord doucement, ensuite avec une vitesse qu'il accélère à mesure que la matière cède à l'action de la force centrifuge : le diamètre de l'ouver-

ture annulaire augmente rapidement; elle prend pendant quelques instants la forme d'une cloche de jardin très-évasée; puis, par ce mouvement continu et toujours plus rapide de rotation, cette forme s'évanouit, et la pièce, s'ouvrant entièrement, se trouve transformée en un large disque ayan ordinairement 1m,50 de diamètre; son épaisseur est presque uniforme, à l'exception de celle du centre, auquel adhère le pontil; ce point présente une saillie ou bourrelet assez épais. La fig. 38 représente les principales phases de ce travail.

En tournant, comme il a été dit, le disque encore malléable dans la petite pièce annulaire qui lamine le verre autour du pointil en fer, les Anglais sont parvenus à diminuer sensiblement le déchet qu'entraînait l'existence de cette saillie.

La fabrication de ces plateaux est, quand on en est le témoin pour la première fois, l'un des spectacles les plus surprenants qu'on puisse voir. La force dépensée pour les façonner, surtout à la fin de l'opération, serait plus que suffisante pour briser le verre en mille fragments, si sa fragilité n'était pas neutralisée par la mollesse qu'il doit à la haute température à laquelle il est travaillé.

Le plateau, renversé sur une petite sole recouverte de cendres, est détaché de son pontil par le contact d'un corps froid; puis il est pris avec une longue fourche et enfourné verticalement dans le four à recuire. La température de ce four doit être réglée avec beaucoup de soin; si elle est trop élevée. le plateau gauchit; si elle est trop basse, il se brise.

Lorsque le four est plein, on le laisse refroidir lentement; au bout de deux à trois jours, le recuit est terminé et les plateaux sont portés au magasin.

Ces plateaux sont découpés en segments et équarris à l'aide du diamant. La partie centrale munie de son bourrelet fournit une pièce rectangulaire qui est refondue ou vendue à vil prix pour les vitrages les plus communs. Le déchet qu'entraîne le découpage des carreaux dans ces segments est nécessairement beaucoup plus considérable que celui que fournit le procédé des cylindres.

Autrefois les plateaux avaient au plus $0^{m},76$ de diamètre; on ne pouvait guère en tirer un carreau de plus de 40 centimètres sur 30 centimètres présentant une épaisseur à peu près égale. Les perfectionnements introduits dans cette fabrication par les verriers anglais permettent d'obtenir couramment des plateaux d'un diamètre presque double. On voyait même à l'Exposition de Londres, en 1851, des plateaux de crown glass ayant jusqu'à $1^{m},72$ de diamètre.

Les détails que je viens de donner suffisent pour donner une idée sommaire de cette fabrication [1], qui n'a plus pour nous qu'un intérêt rétrospectif, malgré les avantages qu'elle présente au point de vue du brillant qu'elle conserve au verre. Faire des vitres joignant à l'éclat du verre en plateaux les dimensions et le bon marché du verre en cylindres

1. Elle est décrite d'une façon complète dans l'*Encyclopédie méthodique*. Les dessins, fort bien exécutés, qui accompagnent cette description, se trouvent dans le *Recueil de planches de l'Encyclopédie par ordre de matières*, t. V.

est assurément l'un des problèmes les plus importants que l'art de la verrerie ait encore à résoudre.

VERRE CANNELÉ. — Cette sorte de verre est soufflée dans un moule en laiton présentant à l'intérieur des cannelures profondes (fig. 39). L'ouvrier introduit dans le moule chauffé sa paraison, qui est elle-même à une haute température; en soufflant fortement, il fait pénétrer son verre dans toutes les cavités du moule; il allonge son verre en soufflant et en prenant soin de ne pas tourner sa canne sur elle-même. Les arêtes s'émoussent à mesure que le manchon s'allonge, en conservant toutefois une cannelure suffisante.

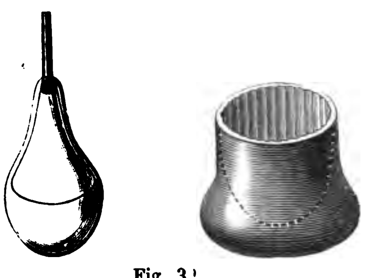


Fig. 3 '.

Cylindres de diverses formes. — Destinés à couvrir et à préserver de la poussière les pendules, les vases, les fleurs artificielles, etc., les cylindres se fabriquent aujourd'hui dans les usines qui font le verre à vitre. Autrefois on se servait de l'extrémité d'un manchon pour produire cette sorte de verre; ce manchon, posé sur le chevalet sans être ouvert au four, donnait un *bonnet* qu'on détachait avec soin et qui devenait le *globe* destiné aux usages qui viennent d'être indiqués. Pour couvrir les objets de forme oblongue ou rectangulaire, des feuilles de verre étaient assemblées au moyen d'un mastic sur lequel

on collait du papier doré : ces feuilles étaient parfois cintrées dans le four du bombeur de verre.

On améliora plus tard cette sorte de produits en soufflant des cylindres de grande dimension et d'une seule pièce. A cet effet, le manchon adhérent à la canne du souffleur et fortement réchauffé à l'ouvreau du four était posé horizontalement sur un plateau en bois blanc et aplati par la pression qu'exerçait sur le verre mou une palette également en bois.

Bien que les noms de cylindres ronds, ovales, carrés, sous lesquels ces objets en verre sont désignés dans le commerce, ne soient pas corrects au point de vue de la géométrie, il n'est pas possible d'en employer d'autres. Pour les cylindres ronds, dont l'épaisseur doit être bien égale dans toutes les parties, le soufflage se fait comme celui des manchons ordinaires, mais avec un soin très-grand, pour que

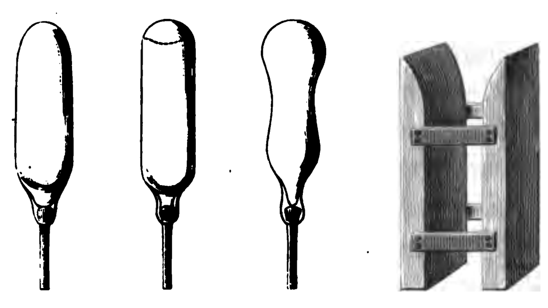


Fig. 40.

la même largeur soit exactement maintenue; en tournant la canne sur elle-même, dans sa position verticale et en réchauffant la pièce à l'ouvreau, l'ouvrier doit éviter l'extension du diamètre de la tête, comme celui du 3e cylindre représenté dans la figure 40.

Les cylindres ovales sont soufflés dans des moules d'une construction très-simple. Ces moules se composent de deux madriers épais de 10 à 12 centimètres, en bois de peuplier, qu'on écarte l'un de l'autre à une distance qui représente le petit diamètre de la pièce à souffler et qu'on place de champ; on les rend solidaires par des traverses en bois fixées avec des pointes dans le haut et dans le bas de cette sorte de caisse à jour (fig. 40). L'écartement en est réglé par la dimension que doit avoir le cylindre et de manière à ce que le diamètre soit un peu plus grand dans la partie inférieure, dans le but de faciliter la sortie du cylindre pendant et après sa confection. C'est pour la même raison que le moule est évasé à sa partie supérieure. Les madriers sont conservés dans une citerne pleine d'eau d'où on ne les sort que pour le travail.

Pour les cylindres dits *carrés* le moule est composé de quatre madriers convenablement espacés.

Le moule étant placé au-dessous de la plate-forme sur laquelle manœuvre l'ouvrier, celui-ci souffle une boule épaisse, en cueillant la quantité de verre voulue, ce qui exige de sa part un coup d'œil très-sûr. Il réchauffe sa pièce, la souffle et l'allonge en faisant le moulinet ; puis le verre, étant de nouveau fortement réchauffé dans l'ouvreau, est introduit dans le moule. L'ouvrier souffle fortement, de manière à ce que la paraison vienne buter contre les parois du moule; il l'en retire à plusieurs reprises, jusqu'à ce que le verre résiste à l'action du souffle : s'il procédait autrement, les gaz fournis par l'eau et par l'in-

flammation du bois repousseraient le verre et l'empêcheraient de s'aplatir contre la barrière qu'on lui oppose.

La pièce étant terminée, on la sépare de la canne sur le chevalet, comme s'il s'agissait d'un manchon ordinaire.

Les ouvriers habitués à ce genre de travail y apportent une précision telle, que le cylindre présente à très-peu près la mesure commandée; ils font des séries de cylindres ronds et ovales qui s'emboitent les uns dans les autres, en conservant entre eux des dimensions décroissantes maintenues dans des limites fort étroites.

Verre a vitre dépoli. — Le dépolissage du verre se fait ordinairement au moyen du grès; on pourrait également le produire à l'aide de la projection du sable sur la surface du verre, par le procédé de gravure au sable qui a été indiqué précédemment.

Dépolissage au grès. — On scelle avec du plâtre plusieurs feuilles de verre placées dans un bac rectangulaire en bois, qui reçoit un mouvement d'oscillation en tournant autour d'un axe horizontal fixé au milieu de sa longueur : on donne à cette caisse, qui contient du grès, des cailloux et de l'eau, un mouvement de va-et-vient. En frottant sur la surface du verre, le grès, entraîné par les cailloux, produit des rayures qui rendent rugueuse la surface du verre. Le verre, ainsi dépoli, se tache et se salit très-promptement. On

choisit pour ce travail des feuilles de verre plus ou moins défectueuses.

Pour avoir le verre mat, c'est-à-dire avec un grain plus fin, on emploie l'émeri en poudre qu'on met en suspension dans l'eau; on frotte la feuille à la main avec un tampon garni de cette matière.

Verre mousseline. — C'est un verre qui a reçu sur l'une de ses faces ou sur les deux un émail blanc qui y forme des dessins variés. L'émail est un verre opaque à base de plomb et d'étain, qui fond à la surface du verre à vitre à une température à laquelle celui-ci est seulement ramolli. Ces dessins sont sur fond mat ou sur fond transparent; ils sont en émail blanc ou en émail coloré, etc.

Le verre à émailler est d'abord nettoyé avec beaucoup de soin, soit à la main, soit avec des brosses mues mécaniquement : il est ensuite posé sur une table, et on y étend à la brosse l'émail préalablement broyé à la meule et mélangé avec de l'eau gommée. Lorsque la couche d'émail est sèche, on applique une feuille de laiton dans laquelle sont découpés les dessins que l'on veut reproduire : c'est le *pochoir*. On enlève au moyen d'une brosse l'émail qui se trouve sur les parties du verre qne le laiton ne recouvre pas : celles qui sont préservées du contact de la brosse conservent la poudre d'émail qui y adhère.

Les poussières enlevées par la brosse se répandent dans l'air. En raison de l'oxyde de plomb qu'elles renferment, elles sont vénéneuses, et elles rendent cette opération dangereuse pour la santé des

ouvriers qui l'exécutent. En conséquence, ce travail devrait toujours être fait sous la hotte d'une cheminée ayant un fort tirage, dans une salle bien ventilée. Il serait à désirer qu'on fît usage du masque inventé par M. Paris, du Bourget, et employé dans ses ateliers pour l'émaillage de la tôle. C'est une sorte de muselière en caoutchouc et en gutta-percha avec un appendice en toile métallique garni extérieurement d'une flanelle mouillée ; ce tissu tamise l'air que l'ouvrier respire et en retient les poussières. Mais cet appareil est peu employé ; on sait combien il est difficile d'imposer aux ouvriers des précautions ayant pour but de les garantir d'un danger éventuel.

Le pochoir n'a pas toute la longueur de la feuille ; il n'a que la dimension voulue pour être appliqué sur les feuilles, dans le sens de leur largeur ; à l'aide de repères, on le place à la suite du dessin déjà préparé de manière à couvrir successivement toutes les parties du verre.

M. A. Gugnon a perfectionné ce travail en se servant d'une machine qui fonctionne de la manière suivante : la feuille de verre est placée à plat sur une table. Le pochoir est fixé à un châssis en métal qui tourne autour d'une charnière, et qui vient se placer sur le verre et en travers de la table. Celle-ci glisse horizontalement sur un bâtis en fonte : le mouvement lui est donné à la main au moyen d'une vis sans fin, manœuvrée par un volant et placée en dessous et dans l'axe de la table. Un cylindre, placé sur le côté, porte des cannelures hélicoïdales dont le pas correspond à la longueur dont doit se dé-

placer le pochoir pour reproduire exactement le dessin. On conçoit que la position du châssis qui porte le pochoir étant invariable, tandis que la table avance à chaque tour de la même quantité, le dessin se reproduise dans des conditions identiques.

La fusion de l'émail se fait habituellement dans un four à moufle dans equel on empile les feuilles les unes au-dessus les autres, en interposant entre chacune d'elles une couche mince de plâtre en poudre, dans le but d'empêcher la soudure que produirait, sans cette interposition, la fusion de l'émail. Cette fusion a lieu à la température du rouge sombre : si la température est trop élevée, le plâtre pénètre dans l'émail fondu et y forme un pointillé désagréable : si elle est trop basse, le verre n'étant pas lui-même suffisamment ramolli, l'émail n'est pas adhérent : le degré à atteindre s'obtient difficilement d'une manière certaine.

Pour écarter ces chances de non-réussite, M. Gugnon se sert d'un four continu dans lequel les feuilles cheminent lentement, et s'échauffent peu à peu jusqu'au moment où, arrivées près de la chambre de cuisson, elles sont placées sur une pierre mobile qui entre dans l'arche chauffée au rouge, dans laquelle l'émail fond rapidement. Un regard ménagé dans la paroi du four permet à l'ouvrier de suivre dans l'intérieur de cette chambre les progrès de la vitrification : quand celle-ci est accomplie, la pierre sort de l'arche et revient en face de la galerie. La feuille qu'elle supporte, devenue assez rigide pour être enlevée sans se déformer, est renvoyée dans la galerie à recuire; elle s'y refroidit graduellement

et on la retire à l'extrémité de cette galerie. Le travail est continu, comme dans les fours à recuire le verre à vitre du système Bièvez.

Verre tulle ou *dentelle*. La feuille de verre, bien nettoyée, est placée au fond d'une caisse formant tiroir et recouverte d'un châssis sur lequel sont tendus du tulle, de la dentelle ou toute autre matière percée de dessins à jour. Dans cette caisse, qui est ensuite fermée, on insuffle, au moyen d'un ventilateur, de l'émail en poudre impalpable qui se dépose sur les parties du verre laissées à découvert. Cet émail est mélangé avec de la résine très-sèche et très-fine. La feuille, retirée de la caisse, est soumise, dans une autre caisse fermée, à un jet de vapeur qui fait adhérer l'émail. Après nouvelle dessiccation, on introduit la pièce dans le four à mouffle ou dans le four à émailler dont il vient d'être question.

Avec des émaux colorés et en employant, comme auxiliaire, de l'acide fluorhydrique qu'on fait agir successivement sur la même feuille de verre, qu'il soit blanc, à deux couches ou coloré dans la masse, on arrive à produire les effets artistiques les plus variés.

Verres à vitre de couleur.

Dans quelques usines, on joint à la fabrication du verre à vitre ordinaire celle des verres de couleur destinés à la peinture sur verre, aux vitraux pour les églises, à l'ornementation, etc.; mais, le plus souvent, cette fabrication se fait dans des usines spéciales qui doivent toujours avoir à la disposition des

artistes une très-grande variété de verres colorés, et, pour la même couleur, de verre de nuances différentes. Pour la qualité, pour l'épaisseur de ces sortes de verres, les peintres-verriers ont des exigences particulières; les verres les plus purs ne sont pas toujours ceux qu'ils recherchent le plus; souvent même ils les *maquillent* pour augmenter l'effet qu'ils veulent produire.

La fabrication des verres colorés est très-ancienne. Il était plus difficile autrefois de faire des verres blancs, qui exigent l'emploi de matières premières relativement pures, que des verres colorés. Aussi l'emploi des vitres de couleur a précédé celui des vitres ordinaires blanches.

Je n'entrerai dans aucun détail sur l'art, d'ailleurs si intéressant, de la peinture sur verre; la question artistique domine ici la question industrielle. Je rappellerai seulement qu'il est bien établi désormais qu'aucun secret de la peinture sur verre n'est perdu; que, tout au moins, ceux qu'on croyait perdus ont été retrouvés. Les fabricants de verre sont en mesure aujourd'hui de satisfaire toutes les exigences des peintres-verriers et même de fournir aux artistes une foule de nuances et de procédés dont la palette de leurs devanciers savait si bien se passer. Si l'art de la peinture sur verre, si florissant des XIIe au XVe siècles, est tombé en décadence à partir du XVIe; si, malgré de brillantes et rares exceptions, les artistes modernes ne parviennent pas à produire des œuvres originales, ayant les grandes qualités des verrières anciennes, c'est beaucoup moins à l'absence de

quelques procédés matériels qu'il faut attribuer cette décadence qu'à celle de l'inspiration, du sentiment religieux, qui planaient sur ces époques et qui ont créé les grandes œuvres que l'art chrétien nous a laissées[1].

Les verres à vitre de couleur sont de diverses sortes : les uns présentent une coloration dans toutes leurs parties ; ce sont les verres *colorés dans la masse ;* les autres sont formés d'une couche très-mince de verre coloré, superposée sur le verre incolore. On les désigne sous le nom de verres *plaqués*, *doublés*, ou *à deux couches*.

Enfin le verre blanc, ainsi que le verre doublé dont une partie colorée a été enlevée au moyen de la roue de tailleur ou de l'acide fluorhydrique, reçoivent à la moufle des émaux ou des colorations variées. Ce sont les verres *peints*.

1. Dans une étude fort intéressante sur les vitraux peints, M. Chevreul insiste sur les qualités attribuées aux vitraux anciens et refusées aux vitraux modernes ; « il en est deux, dit cet illustre chimiste, qui tiennent à des défauts de la fabrication des verres anciens. »

« Le premier défaut tient à ce que beaucoup de verres anciens sont d'inégale épaisseur, en d'autres termes, que leurs deux surfaces ne sont point parallèles, qu'elles présentent des parties convexes et des parties concaves qui agissent tout différemment sur la lumière, de manière à produire en définitive des effets agréables. »

« Le second défaut est chimique. Il tient à la composition du verre ancien même, qui n'est point équivalente à du verre *incolore*, plus un principe colorant, tel que le protoxyde de cobalt, le sesquioxyde de manganèse, etc ; le verre ancien contient beaucoup d'oxyde de fer intermédiaire qui le colore en vert, indépendamment des oxydes de cobalt, de manganèse, etc., et c'est à cette existence du fer qu'il faut attribuer la propriété qu'ont certains verres colorés par du cobalt de transmettre une couleur bleue dépouillée de violet, et certains verres anciens colorés par le manganèse de trans-

Pour une potée de 400 kilogrammes, on ajoute 1,100 à 1,200 grammes d'oxyde de cobalt ou bien 8 à 9 kilogrammes de *safre.* Le safre est une matière bleue, riche en silice, colorée par ce même oxyde; c'est un silicate de potasse et de cobalt, contenant environ 15 pour 100 d'oxyde de ce métal.

Une partie de la composition est habituellement remplacée par du groisil de verre à vitre, incolore ou coloré en bleu; ce dernier provient des fontes antérieures de verre coloré.

La proportion d'oxyde colorant dépend de la teinte plus ou moins foncée qu'on veut donner au verre et aussi de l'épaisseur des feuilles; si celles-ci ont 3 à 4 millimètres, la moitié de la quantité indiquée ci-dessus sera suffisante; la dose entière ne convient que pour les feuilles soufflées en verre simple, de 1 à 2 millimètres d'épaisseur.

Le soufflage et l'étendage des manchons se fait dans les mêmes conditions que pour le verre ordinaire.

En ajoutant de l'oxyde de cuivre noir dans la proportion de 6 à 7 pour 100 de sable, et en réduisant à 400 grammes la quantité d'oxyde de cobalt, la teinte, qui est d'un bleu violacé avec l'oxyde de cobalt seul, vire au bleu céleste. Il est essentiel d'éviter, dans le four, les fumées réductrices de la houille; aussi réussit-on mieux avec les pots couverts qu'avec les pots ouverts.

Pour les lunettes, la teinte doit être plus claire et d'un bleu gris; pour une potée ordinaire de 400 kilogrammes, on n'emploie que 170 à 200 grammes d'oxyde de cobalt et 3 à 4 kilogrammes d'oxyde

rouge de fer. Ce verre doit être d'un coloration bien égale et d'un affinage très-soigné.

La teinte neutre, dite *fumée de Londres*, qui est employée aussi pour les verres à lunettes, n'est qu'une atténuation du noir; cette dernière couleur s'obtient au moyen d'un mélange d'oxydes de cuivre, de fer et de manganèse. Pour la teinte neutre, M. Bontemps indique la composition suivante :

Sable.	100	parties.
Carbonate de potasse.	28	—
Carbonate de soude	10	—
Minium.	50	—
Oxyde de fer.	3	—
Oxyde de manganèse.	4	—
Oxyde de cuivre.	2	—

Le verre noir s'obtient en augmentant la proportion de ces trois derniers oxydes et, comme ceux-ci agissent aussi comme fondants, en diminuant la quantité de carbonate de potasse. On fond dans des pots couverts.

Verre bleu doublé. — Nous avons dit que, pour conserver aux verres de couleur leur transparence ou pour leur donner une teinte plus claire, on fait du verre à deux couches : l'une, la plus épaisse, étant incolore, l'autre étant colorée; cette dernière doit être d'une teinte très-foncée, afin d'être, en même temps, aussi mince que possible. A cette condition, elle est facilement enlevée soit au tour soit au moyen de l'acide fluorhydrique, et, ce

qui est plus important, elle permet d'éviter la rupture du manchon qui résulterait de la superposition de deux verres de nature différente, employés en même quantité. D'une manière générale, les pots servant à fondre le verre coloré sont couverts et de petite dimension; ils ne contiennent pas au delà de 50 à 60 kilogrammes de composition. Celle-ci est une sorte de cristal à base de soude, dans les proportions suivantes pour le verre bleu à doubler :

Sable.	100	parties.
Minium.	90	—
Sel de soude à haut titre.	25	—
Nitrate de soude.	4	—
Oxyde de cobalt.	6	—

Pour faire un manchon en verre doublé, le souffleur cueille avec la canne préalablement chauffée environ 200 grammes de verre bleu pris dans le petit creuset; sa paraison étant faite, il la plonge dans un creuset ordinaire de verre blanc de manière à en prendre en deux cueillages environ 3 kilogrammes : cette quantité permet de produire une feuille de un demi-mètre de superficie, ayant 2 millimètres d'épaisseur. Le manchon est soufflé et étendu dans les conditions ordinaires; la bonne répartition du verre coloré, ainsi que l'économie apportée à son cueillage, dépendent de l'habileté du souffleur. Une potée de verre blanc de 400 kilogrammes et une autre de 50 kilogrammes de verre bleu donnent 35 à 40 mètres superficiels de verre doublé. Il est essentiel que le verre blanc soit doux pour éviter la rupture des manchons; ce résultat s'obtient en dimi-

nuant la proportion de groisil ou en forçant un peu la dose de fondant alcalin.

Les groisils de ce verre doublé sont mis de côté pour la fabrication du verre bleu coloré dans la masse.

VERRE VIOLET. — Ce verre a toujours pour colorant essentiel l'oxyde de manganèse. M. Bontemps a observé le premier ce fait singulier qu'avec le verre à base de soude, l'oxyde de manganèse donne un violet virant au rouge, tandis qu'avec le verre à base de potasse on obtient le violet bleu, dit *violet d'évêque*. Par l'addition de l'oxyde de cobalt, cette couleur devient plus bleue; le violet brun est produit par un mélange d'oxyde de manganèse et d'oxyde de fer.

Ces colorations doivent être produites dans un milieu oxydant; une portion de l'alcali y est introduite sous forme de nitrate de soude ou de potasse; on emploie, par exemple,

Sable	100	parties.
Sel de soude	30	—
Craie	25	—
Nitrate de soude	5	—
Bioxyde de manganèse	8	—

En diminuant de moitié la quantité de ce dernier oxyde et en ajoutant une partie d'oxyde rouge de fer, on a un violet rouge plus clair, ayant la même nuance que le violet des anciens vitraux; ceux-ci étaient, en effet, fabriqués avec des matières premières moins pures, plus ferrugineuses que celles

dont on fait usage aujourd'hui pour fabriquer le verre blanc.

On peut imiter les violets bleus des vitraux des XVe et XVIe siècles, en substituant dans la composition indiquée ci-dessus la potasse à la soude et en y ajoutant 10 parties de minium; pour les teintes claires, il convient de diminuer d'un tiers au moins la proportion d'oxyde de manganèse.

Le verre doublé violet se fait avec une composition semblable à celle qui est indiquée p. 200 avec cette variante que le fondant alcalin est la potasse et que l'oxyde de cobalt s'y trouve remplacé par 22 parties d'oxyde de manganèse pour 100 de sable. La confection des manchons est la même.

Verres jaunes. — Un mélange d'oxydes de fer et de manganèse donne au verre une coloration jaune; ainsi en ajoutant à la composition indiquée ci-dessus 22 d'oxyde de manganèse et 3,5 d'oxyde de fer, on obtient un verre jaune, d'une nuance d'ailleurs assez variable en raison des modifications que la matière vitreuse éprouve pendant la durée de la confection des manchons.

Cette même couleur se produit plus facilement au moyen du *charbon*. La composition suivante donne un beau verre jaune :

Sable.	100	parties.
Sel de soude.	45	—
Craie . . . . 35 à	40	—
Sciure de bois vert de peuplier. . .	4	—

D'après M. Bontemps, le bois d'aune, dont les

anciens verriers conseillaient l'emploi, donne de bons résultats; mais il est essentiel que les bois dont on fait usage ne soient pas desséchés; il faut qu'ils contiennent encore l'eau et les substances végétales qui existent dans la séve.

Ce verre est d'un affinage difficile; il est très-sujet à bouillonner; c'est probablement à ce bouillonnement, dû à l'eau et aux autres produits volatils fournis par le bois, qu'est dû le brassage qui répartit également le carbone très-divisé en suspension dans le verre et qui lui donne la couleur jaune; il oblige à prolonger la durée de l'affinage, sous peine d'avoir des feuilles pleines de bouillons.

Avec une quantité double de sciure de bois, le verre passe au jaune orangé; il devient brun et quelquefois même rouge ou noir avec des proportions plus fortes.

Dans tous les ouvrages concernant l'industrie du verre, l'*oxyde d'antimoine* est indiqué comme donnant au verre une coloration jaune. D'après des expériences très-précises faites par M. Didierjean, cette indication est erronée; l'oxyde d'antimoine *pur* ne donne au verre aucune coloration; mais celui dont on fait usage habituellement est un mélange d'oxyde et de sulfure d'antimoine provenant du grillage qu'on fait subir au sulfure natif; c'est *le verre d'antimoine*. Or ce produit, d'après M. Didierjean, ne colore le verre qu'en raison du soufre qu'il renferme. Cette opinion paraît conforme à certaines expériences de M. Pelouze tendant à établir que la couleur jaune du verre est toujours due au

soufre, alors même qu'elle est produite par l'emploi du charbon, lequel transformerait en sulfure le sulfate de soude non décomposé que renferme presque toujours le verre à vitre; mais les conclusions auxquelles M. Pelouze est arrivé, en attribuant exclusivement au soufre cette coloration, sont trop absolues, d'après M. Bontemps et aussi d'après M. Didierjean.

Nous reviendrons sur cette question lorsque nous aurons à nous occuper des autres verres colorés; qu'il nous suffise de dire, quant à présent, que le carbone et le soufre, lorsqu'ils existent à l'état libre dans le verre, possèdent l'un et l'autre la propriété de lui donner la couleur jaune ; cette couleur est d'autant plus foncée que ces corps s'y trouvent disséminés en plus grande quantité; pour le soufre, on peut arriver jusqu'au noir opaque.

On fabrique aussi des verres jaunes qui sont *teints* par l'argent. Ce métal possède, en effet, la propriété de colorer le verre en jaune; on l'emploie à l'état de sulfate ou de chlorure qu'on mélange avec de l'ocre rouge; après calcination à une température ménagée, puis addition d'une quantité d'eau suffisante pour faire une bouillie un peu claire, on répartit uniformément cette matière sur la surface d'une feuille de verre bien nettoyée, en procédant à la manière des photographes lorsqu'ils recouvrent de collodion une feuille de verre.

Cette pâte étant séchée, le verre est chauffé dans un four à moufle à une température qu'on règle de manière à le ramollir sans le déformer; un four à

étendre, muni d'une ouverture suffisante pour l'entrée des feuilles, convient aussi très-bien pour cette opération. Au moyen d'une brosse dure, on enlève l'oxyde de fer qui, après avoir servi d'excipient à l'argent, est resté sous forme d'une poudre peu adhérente à la surface du verre teinté.

La nature du verre, sous le rapport de sa composition chimique, exerce une grande influence sur l'intensité de la couleur; avec les verres tendres, trop chargés en alcalis, trop fusibles, on a le jaune clair; avec des verres siliceux, le jaune est plus vif, vire à l'orangé et même au rouge.

VERRES VERTS. — La composition du verre violet (p. 201), dans laquelle le bioxyde de manganèse est remplacé par 6 parties d'oxyde noir de cuivre et 4 parties d'oxyde de fer, donne une belle couleur vert-pré. On arrive au même résultat en remplaçant une partie de ces oxydes par le tiers environ de leur poids de bichromate de potasse; avec ces mêmes substances associées à l'oxyde de cobalt, la couleur devient vert-bleu. Enfin l'oxyde d'uranium jaune (qui est, en réalité, de l'uranate d'ammoniaque ou de potasse), ajouté aux oxydes de cuivre et de fer, fournit la teinte vert-jaune.

Les proportions de ces différents oxydes varient avec les nuances plus ou moins intenses qu'on cherche à produire.

VERRE ROUGE OU POURPRE. — On sait combien est important le rôle de cette sorte de verre dans

la confection des vitraux d'église; on connaît le parti qu'en savaient tirer les artistes de la grande époque de la peinture sur verre, c'est-à-dire des XIIe, XIIIe et XIVe siècles. Sa fabrication offre, d'ailleurs, certaines particularités qui expliquent sa disparition complète pendant les siècles suivants et aussi cette opinion généralement répandue jusque dans ces dernières années que les secrets de la peinture sur verre étaient perdus.

Il est certain qu'à la fin du siècle dernier un morceau de ce verre de fabrication récente était introuvable. Le Viel, dans son livre sur *l'Art de la peinture et de la vitrerie*, publié en 1774, dit qu'il n'est pas parvenu à faire fabriquer du verre rouge dans les verreries de Bohême, malgré le prix élevé qu'il en offrait. Cependant, à une époque antérieure, Neri, Merret et Kunckel, dans *l'Art de la verrerie*, indiquent le cuivre comme étant la matière colorante du verre pourpre; il est même juste de reconnaître que les procédés qu'ils donnent diffèrent fort peu de ceux qu'on a suivis depuis, au moins pour le verre coloré qui sert à faire le verre plaqué[1]. D'autres auteurs, il est

1. Voici le passage de Neri dont l'ouvrage, publié en italien en 1612, a été traduit en 1752 avec des notes de Merret, médecin anglais, et de Kunckel, savant saxon :

« *Rouge foncé*. Prenez vingt livres de la fritte de cristal, une livre de fragments de verre blanc, deux livres d'étain calciné; mêlez toutes ces matières; faites-les fondre et purifier : lorsque tout le mélange sera fondu, prenez parties égales de limaille d'acier calcinée et pulvérisée et d'écailles de fer bien broyées; mêlez ces deux matières et mettez-en deux onces dans le verre lorsqu'il sera bien purifié; ce mélange le fera gonfler considérablement; il faudra lui donner cinq

vrai, attribuaient à l'or la couleur rouge des anciens vitraux; ce métal donne aussi au verre, dans d'autres conditions, une couleur rose ou rouge; on l'emploie à cet effet pour les cristaux colorés. Cette dernière opinion avait même un tel crédit à la fin du siècle dernier que, dans les temps les plus difficiles de notre première révolution, l'Assemblée constituante envoyait à la Monnaie de Paris des caisses de verre pourpre enlevé aux verrières du moyen âge, avec l'ordre d'en extraire, au profit du Trésor public, l'or qu'on supposait y exister. Darcet, chargé de ce travail, démontra que ces verres ne contenaient que du cuivre et sauva ainsi de la destruction beaucoup de beaux monuments de l'art chrétien. On peut ajouter que si l'or eût réellement existé dans ce verre,

ou six heures de temps pour s'y incorporer parfaitement et prendre garde de ne point trop mettre de la poudre que l'on vient d'indiquer; cela rendrait le verre noir, au lieu qu'il doit être d'une couleur foncée, mais transparente. Lorsque vous serez parvenu à lui donner cette couleur, prenez d'*æs ustum,* du chapitre XXIV, bien broyé, environ six drachmes; mêlez au verre et remuez souvent le mélange; à la troisième ou quatrième fois, votre matière paraîtra avoir pris un rouge de sang. Il faudra faire de fréquentes épreuves de la couleur; et aussitôt qu'on la trouvera telle qu'on la demande, il faudra se mettre promptement à travailler cette composition; car sans cela, le rouge disparaîtra, et le verre deviendra noir. De peur que la couleur ne disparaisse, il faut outre cela que le creuset soit découvert et que toutes les circonstances s'observent soigneusement; surtout on se gardera bien de mettre trop de limaille d'acier et d'écailles de fer, de peur que le verre ne noircisse au lieu de prendre une couleur d'un jaune obscur; c'est alors qu'en y ajoutant le cuivre calciné, il deviendra d'une très-belle couleur. J'en ai l'expérience : il faut aussi que la matière ne s'échauffe pas trop dans le creuset, et ne demeure pas plus de dix heures au fourneau : si la couleur venait

comme il ne pouvait s'y trouver qu'en très-petite quantité, dans la proportion de quelques dix-millièmes, les frais d'extraction eussent dépassé dans une énorme proportion la valeur du métal précieux qu'on en eût tiré.

La fabrication du verre rouge, recommencée en Allemagne et en Suisse, a été reprise avec succès en 1826 par M. Bontemps dans la verrerie de Choisy-le-Roi; ce fait est établi par un rapport fait à cette époque à la Société d'encouragement pour l'industrie nationale par M. J. Darcet. Aujourd'hui plusieurs de nos verreries sont renommées pour ce genre de travail, bien que les difficultés qu'il présente encore ne permettent pas de produire cette coloration avec autant de sûreté que les autres.

à disparaître pendant cet intervalle, ce qui arrive quelquefois, on la rétablirait, en ajoutant de nouvelles écailles de fer. Cette opération demande beaucoup d'attention et de soin. »

(L'*æs ustum* est l'oxyde de cuivre obtenu par la calcination de lames de cuivre minces.)

Voici les remarques de J. Kunckel :

« En suivant le procédé indiqué par l'auteur pour le rouge, on aura une couleur si foncée qu'à moins de rendre ce verre extrêmement mince en le soufflant, on ne pourra en distinguer la couleur; il est presque impossible de faire cette composition de cette façon, dans nos fourneaux de verrerie allemande, parce qu'il faut une manière toute particulière de gouverner le feu. Après m'être donné des peines incroyables, je puis me flatter d'être enfin parvenu à faire le plus beau rouge et à imiter les rubis; *mais comme ce secret m'a coûté beaucoup de soin, de peine et de travail, on ne trouvera pas mauvais que je ne le communique point quant à présent.* »

Ce verre est toujours *doublé*, coloré, par conséquent, sur un de ses côtés par une couche très-mince de verre rouge. On admet généralement que la coloration est due au protoxyde de cuivre; mais il n'est nullement démontré qu'il en soit ainsi; il est fort possible, en effet, qu'en raison de la facilité avec laquelle les oxydes de cuivre sont réduits par les corps désoxydants, tels que le charbon, le fer, l'étain, les gaz hydrogénés du foyer, etc., le cuivre soit amené à l'état métallique et donne au verre une coloration qui se rapproche beaucoup de celle qui est fournie par l'or dans des conditions analogues. Cette opinion, que j'ai énoncée depuis longtemps, est rendue très-vraisemblable par des travaux récents sur d'autres verres cuivreux, l'*hœmatinon* et l'*aventurine*, dont il sera question plus loin.

Quoi qu'il en soit à cet égard, M. Bontemps et, avant lui, Neri ont constaté que le verre rouge ne s'obtient jamais d'une première fonte; plus ce verre a été fondu, plus on est certain d'arriver à une couleur belle et égale.

Dans un autre chapitre, Neri *parle d'un verre rouge de sang, dont on peut se servir au lieu de l'émail couleur de rose :*

« On fera fondre six livres de verre de plomb et dix livres de fritte de cristal; on les purifiera par des extinctions réitérées dans l'eau; on y ajoutera ensuite quatre à six onces d'écailles de cuivre rouge, qu'on y mêlera avec soin; on y joindra du tartre rouge en poudre; on le purifiera à l'ordinaire; si la couleur n'en est pas assez forte, on ajoutera du tartre et des écailles de cuivre jusqu'à ce qu'elle le soit assez; on en fera l'essai, et on remettra la matière au four pour en rehausser la couleur. »

comme il ne pouvait s'y trouver
quantité, dans la proportion de que
lièmes, les frais d'extraction eussent
une énorme proportion la valeur du m
qu'on en eût tiré.

La fabrication du verre rouge, re
en Allemagne et en Suisse, a été rep
succès en 1826 par M. Bontemps dans la
de Choisy-le-Roi; ce fait est établi par
port fait à cette époque à la Société d'e
gement pour l'industrie nationale par M. J.
Aujourd'hui plusieurs de nos verreries son
nommées pour ce genre de travail, bien qu
difficultés qu'il présente encore ne permettent pa
produire cette coloration avec autant de sûreté
les autres.

à disparaître pendant cet intervalle, ce qui arrive quelquefois, on rétablirait, en ajoutant de nouvelles écailles de fer. Cette opérati demande beaucoup d'attention et de soin. »

(L'*æs ustum* est l'oxyde de cuivre obtenu par la calcination lames de cuivre minces.)

Voici les remarques de J. Kunckel :

« En suivant le procédé indiqué par l'auteur pour le rouge, on aura une couleur si foncée qu'à moins de rendre ce verre extrêmement mince en le soufflant, on ne pourra en distinguer la couleur : il est presque impossible de faire cette composition de cette façon dans nos fourneaux de verrerie allemande, parce qu'il faut une manière toute particulière de gouverner le feu. Après m'être donné des peines incroyables, je puis me flatter d'être enfin parvenu à faire le plus beau rouge et à imiter les rubis; *mais comme ce secret m'a coûté beaucoup de soin, de peine et de travail, on ne trouvera pas mauvais que je ne le communique point quant à présent.* »

Ce v… matière fondue deux ou trois fois à
quent. … rre et on tire à l'eau. On fond de
de verre … le et on répète trois fois ces opéra-
ration est … mélange avec du verre blanc ainsi
nullement
possible, et
quelle les … 100
désoxydants … 36
gaz hydrogène … 18
à l'état métallique … 3
qui se rapproche … ce groisil blanc avec le verre
par l'or dans de … on ajoute 30 à 40 grammes
que j'ai énoncée … l'étain.
vraisemblable par … adopté, on fait une petite
verres … is une autre plus considé-
seront … e garnie de la première
Quoi … erre blanc ordinaire. Le
avant lui … procédés déjà décrits. Il
s'obtient jamais … ouleur ne se produit pas
a été fondu … u'à la dernière chauffe,
couleur … allonger le manchon et
couleur se développer.

Dans … uit pour le verre rouge
dont on peut … l'or : c'est sous l'in-
… es que la coloration se
« On fera … ns-nous dit, que pour
fritte de crist… soit le résultat d'une
l'eau ; on … *oduit souvent dans l'in-*
rouge, qu'on … *été ouvert.*
poudre ; on … ormules concernant le
forte, on ajoute … on d'une assez forte
qu'elle … soit …
four pour … refondre …
Pelig…

Voici une composition qui donne, d'après M. Bontemps, de beaux verres rouges :

Sable..	100 kilogrammes.
Minium..	90 —
Carbonate de potasse.	32 —
Oxydes de plomb et d'étain.. .	15 —
Oxyde brun de cuivre.	$0^{kil},700$
Battitures de fer..	$0^{kil},750$
Borax..	$4^{kil},000$

On fond à pot couvert; on macle à la pomme de terre, c'est-à-dire qu'on fait pénétrer pendant quelques instants dans la matière fondue une pomme de terre fixée au bout d'un petit ferret.

Cette matière, tirée à la poche, est broyée et tamisée. On y ajoute 50 grammes d'oxyde brun de cuivre. 100 grammes de borax et 400 grammes d'un mélange à parties égales d'oxydes de plomb et d'étain et on fond de nouveau. Après un second maclage à la pomme de terre, on broie, on tamise et on renfourne en temps utile pour que ce verre soit prêt pour le commencement du travail du verre blanc.

La méthode suivante donne, d'après le même auteur, le verre rouge le plus régulièrement beau; c'est aussi celle qui est employée pour doubler en rouge le cristal et la gobeleterie. On enfourne dans un petit pot :

Sable.	25
Minium.	50
Oxyde de cuivre.	1,200
Acide stannique.	3

On travaille la matière fondue deux ou trois fois à la pomme de terre et on tire à l'eau. On fond de nouveau, on macle et on répète trois fois ces opérations. Puis on la mélange avec du verre blanc ainsi composé :

Sable	100
Carbonate de potasse	36
Chaux	18
Minium	3

On fond 25 parties de ce groisil blanc avec le verre précédent tiré à l'eau et on ajoute 30 à 40 grammes de tartre ou de copeaux d'étain.

Quel que soit le dosage adopté, on fait une petite paraison avec ce verre; puis une autre plus considérable en plongeant la canne garnie de la première dans un pot contenant du verre blanc ordinaire. Le manchon est façonné par les procédés déjà décrits. Il arrive assez souvent que la couleur ne se produit pas immédiatement, et ce n'est qu'à la dernière chauffe, c'est-à-dire quand on a fini d'allonger le manchon et qu'il se refroidit, qu'on voit la couleur se développer. Le même phénomène se produit pour le verre rouge groseille ou rose coloré par l'or : c'est sous l'influence des chauffes successives que la coloration se développe. Il ne paraît pas, avons-nous dit, que pour le pourpre de cuivre la couleur soit le résultat d'une oxydation ; *car cette couleur se produit souvent dans l'intérieur du manchon avant qu'il ait été ouvert.*

Dans presque toutes les formules concernant le verre pourpre, il est question d'une assez forte

quantité d'acide stannique ou de potée d'étain. Il est difficile de comprendre l'utilité de ce corps, qui probablement n'agit pas comme réducteur. Il est possible qu'il serve à opaliser, à ternir la couche très-mince de verre colorée, ou bien que l'étain calciné indiqué par Neri et par d'autres auteurs contienne encore du protoxyde d'étain ou de l'étain métallique qui exerceraient sur l'oxyde de cuivre une action désoxydante.

Le verre pourpre doit être d'une couleur claire, plutôt orangée que violette; il offre souvent des marbrures, des parties flammées, des inégalités de teinte; mais, entre les mains d'artistes habiles, ces verres défectueux en apparence, lorsqu'ils sont convenablement employés, ajoutent plutôt qu'il ne nuisent à l'effet du dessin et du coloris. Il me sera permis d'ajouter que, nonobstant les soins apportés à cette fabrication et les progrès réalisés, plus d'un artiste affirme que les anciens verres rouges, malgré leurs imperfections, peut-être même à cause de leurs défauts et de leurs teintes inégales, étaient supérieurs à ceux qu'on fabrique aujourd'hui

CHAPITRE CINQUIÈME

Glaces.

Historiques. — L'usage des miroirs remonte, assurément, à la plus haute antiquité ; et, bien que les anciens ne se servissent guère que de miroirs en métal poli, ceux en verre ne leur étaient pas absolument inconnus. « Autrefois, dit Pline, Sidon était célèbre par ses verreries ; on y avait même inventé les miroirs de verre. » (*Hist. nat.*, lib. XXXVI.)

On a longtemps mis en doute cette assertion ; mais diverses découvertes sont venues ajouter leur témoignage à celui de l'historien latin. On voit au musée de Turin deux miroirs antiques en verre trouvés dans les tombes de Sakkara, près Memphis. Ces miroirs sont encastrés à l'aide d'un cercle en bois dans de petites figurines servant de supports ; leur forme rappelle celle du disque sacré que le bœuf Apis portait entre ses cornes.

Les miroirs dont on se servait de préférence dans l'antiquité étaient formés de cuivre et d'étain ou d'*airain blanc* de Corinthe. Comme cet alliage,

qu'on fabriquait aussi à Brindes, en Italie, se ternit rapidement, on attachait à sa monture une éponge et de la pierre ponce pour le nettoyer et le polir. L'argent, dont le pouvoir réfléchissant est si considérable, était aussi employé pour le même usage; les historiens anciens nous apprennent qu'au temps des Empereurs les miroirs d'argent étaient tellement communs qu'ils s'étaient introduits jusque dans la toilette des servantes. Les miroirs de verre n'ont commencé à être d'un usage général qu'après qu'on eût perfectionné les procédés de polissage et d'étamage, et jusqu'au XVI[e] siècle il est presque toujours fait mention des miroirs en argent, bien qu'on en fabriquât aussi en verre.

Avant que l'amalgame d'étain ait été employé pour étamer les glaces, on recouvrait le verre d'une mince couche de plomb; mais les miroirs ainsi fabriqués étaient bien inférieurs à ceux d'argent: leur pouvoir réflecteur était moindre et les images étaient beaucoup moins nettes. Raymond Lulle, Roger Bacon et avant eux, en 1280, le franciscain anglais John. Pekham parlent en termes très-explicites de l'amalgame d'étain ; longtemps après, néanmoins, la méthode de doublage au plomb était encore pratiquée dans nombre de verreries.

On sait que les glaces de Venise ont joui pendant plusieurs siècles d'une réputation méritée; celles de France étaient aussi très-estimées. La reine Élisabeth avait fait venir en Angleterre des verriers normands « pour fabriquer des glaces à la mode de France ». Au XVI[e] siècle, l'industrie des glaces et des miroirs était.

en effet, assez développée dans notre pays; mais c'est en Lorraine qu'elle était surtout florissante. Volleyr de Sérouville, secrétaire ordinaire du duc de Lorraine, nous a transmis à cet égard des détails curieux dans sa « Chronique abrégée par petits vers huytains des Empereurs, Roys et ducs Daustrasie » suivie du « Traicté des singularitez du parc d'honneur[1] ».

Le passage suivant est extrait du chapitre ayant pour titre : « *Forges à faire mirouers, voirres fins et communs; avec les voirreries de gros voirres.* »

« ... Au lieu de Pontamousson quinzième jour de juing ou environ le maistre voirier fist présent au prince et modérateur dudit parc dung crucifix mis sur une grande croix de voirre en grosseur de la cuisse dung homme accoustré si richement de couleur que l'on estoit aveugle de la beaulté et lueur... Joingt semblablement que à Raon au pays de Vosges et à Sainct-Quirin[2] lon faict les mirouers qui se transportent par toute la chrestienté; ce que l'on racompte avoir été fait au lieu de Bainville surnommé — aux mirouers — assis sur la rive de Mezelle entre Charmes et Bayon. »

« ... Et se forgent les voirres en la fournaise ardente par une merveilleuse artifice avec ung fer attaché au bout dung baston percé par le moyen duquel il tire la matte embrasée laquelle à force de sousfler et rouller sur une planche vient à l'arrondir et enfler tant et si longuement qu'elle a prins la forme et grosseur des mirouers grands, moyens et petits, comme bon semble audit maistre ouvrier; puis aprez il applique

1. Cet ouvrage, aujourd'hui fort rare, a été imprimé en 1530.

2. La verrerie de Saint-Quirin (plus tard transportée à Cirey) a continué à fonctionner jusqu'en 1850, sous la direction de M. Chevandier. Nous avons vu que le verre à vitre en cylindres a été fait pour la première fois en France par Drolenvaux dans cette même usine.

le plomb par grant subtilité pour donner le lustre et réverbération des choses, lesquelles sont opposées et mises au devant desdits mirouers qui, depuis avoir été disjoints et séparez dudit canale de fer, sont mis en pièces pour en repartir à tous ceux qui en veulent avoir. »

Ces documents que je dois, ainsi que plusieurs de ceux qui précèdent et qui suivent, aux études archéologiques de M. H. de Fontenay, ne permettent peut-être pas de se faire une idée bien précise de ce mode de fabrication; aussi il n'est que juste de faire remonter aux Vénitiens l'invention des véritables miroirs en verre, en conservant aux anciens, comme aux Chinois, celle des miroirs en métal.

C'est à Venise, en effet, que furent faits dans des conditions vraiment industrielles et commerciales les premiers miroirs en verre; cette fabrication remonte au XIIIe siècle. Les miroirs de Venise étaient soufflés en cylindres, comme le verre à vitre, étendus, dégrossis, polis et étamés. Les Vénitiens produisaient ainsi des glaces biseautées d'une assez grande dimension, remarquables par la blancheur et la pureté du verre, glaces qu'on recherche encore aujourd'hui, plutôt, il est vrai, à cause de leur ancienneté et de l'élégance de leur encadrement que pour la qualité du verre.

Venise conserva longtemps le monopole de cette fabrication qui ne cessa, pour la France, que sous le règne de Louis XIV. C'est sous le ministère et avec les encouragements de Colbert que fut fondée la première fabrique de glaces en France. On sait avec quelle sollicitude ce grand ministre s'occupait des

moyens de développer les différentes branches de fabrications qui manquaient à notre pays. En 1664, il demandait à François de Bonzi, évêque de Béziers, alors ambassadeur à Venise, d'emprunter à la puissante république deux industries importantes : *les miroirs et les points de Venise*[1].

Mais la négociation n'était pas facile ; l'ambassadeur commence par répondre au ministre que « pour lui envoyer des ouvriers, il court risque d'être jeté dans la mer » et il ajoute que « Venise vend à la France des miroirs pour 100,000 écus au moins par an, et des dentelles pour trois ou quatre fois autant ».

Les règlements industriels de Venise étaient aussi durs que précis : « Si quelque ouvrier ou artiste transporte son art en pays étranger, disait l'article 26 des *Statuts de l'inquisition d'État*, et s'il n'obéit pas à l'ordre de revenir, on mettra en prison les personnes qui lui appartiennent de plus près et si, malgré l'emprisonnement de ses parents, il s'obstine à vouloir demeurer à l'étranger, on chargera quelque émissaire de le tuer et, après sa mort, ses parents seront mis en liberté. »

Néanmoins une vingtaine d'ouvriers vénitiens

1. Un homme de bien et de science, feu M. Augustin Cochin, membre de l'Institut, a publié en 1865 une notice très-intéressante sur la manufacture des glaces de Saint-Gobain, à l'occasion du deux centième anniversaire de la fondation de cet établissement ; M. Cochin était l'un des administrateurs de Saint-Gobain dont l'histoire est, en réalité, celle de la fabrication des glaces non-seulement en France, mais en Europe ; car Saint-Gobain a longtemps servi de type et de modèle à toutes les autres manufactures de glaces.

arrivèrent à Paris, au mois d'août 1665. La Compagnie des glaces fut immédiatement fondée par les soins de Colbert, et Nicolas du Noyer, receveur général des tailles à Orléans, reçut, au mois d'octobre de la même année, les lettres patentes qui lui accordaient, pour vingt ans, le privilége exclusif d'établir une *manufacture de glaces de miroir par des ouvriers de Venise.*

Par ces lettres, le roi accordait, selon d'anciens usages, « que toutes les personnes nobles qui pourraient s'associer dans cette manufacture le feraient sans déroger à leur noblesse, avec exemption de tailles, logements de gens de guerre, etc., à tous ceux qui pourraient y travailler, même à leurs commis, serviteurs et domestiques ».

On sait que ceux qui exerçaient l'art de fabriquer le verre avaient reçu de nos rois d'importants priviléges, notamment celui de ne pas déroger à leur noblesse. « Les ouvriers qui travaillent à ce bel et noble art, dit Haudicquer de Blancourt, sont tous gentilshommes, et ils n'en reçoivent aucuns qu'ils ne les connaissent comme tels. Néanmoins cette industrie n'anoblissait pas celui qui l'exerçait; seulement elle ne lui faisait pas perdre, comme cela arrivait pour d'autres professions, sa qualité de noble. »

Cette noblesse, à la vérité, ne donnait ni la fortune ni la considération. Bernard Palissy écrivait en 1580 : « L'estat est noble et les hommes qui y besongnent sont nobles; mais plusieurs sont gentilshommes pour exercer ledit art qui voudroyent

estre roturiers et auoir de quoy payer les subsides des Princes. »

C'est au faubourg Saint-Antoine, à Paris, que cette manufacture fut fondée dans l'emplacement qu'occupe aujourd'hui la caserne de Reuilly; son installation avait été fort coûteuse et, au bout d'un an, les résultats qu'elle donnait étant fort médiocres, elle entra en rapport avec un gentilhomme verrier de Normandie, Richard Lucas, sieur de Nehou, lequel avait été signalé à Colbert par M. de Chamillard. Le sieur de Nehou dirigeait, à Tour-la-Ville, près Cherbourg, une verrerie établie en 1653 ; il avait fourni, en 1656, les verres blancs du Val-de-Grâce et il était arrivé, en profitant des indications fournies par des ouvriers de Strasbourg, qui avaient dérobé par ruse aux ouvriers de Venise leurs procédés de soufflage, à faire avec succès des glaces de miroirs.

Telle paraît avoir été l'origine de notre première fabrique de glaces soufflées ; quelques années plus tard, en 1673, les glaces françaises étaient plus parfaites que celles de Venise et, dès l'année précédente, un arrêt du Parlement prohibait expressément l'entrée des glaces venant de l'étranger. On sait que la prohibition, qui semble être aujourd'hui une mesure excessive, était alors le régime général de l'Europe; en ce qui concerne les glaces et les autres produits de l'industrie du verre, elle a continué à être en vigueur pendant une bien longue suite d'années, puisqu'elle n'a été supprimée que par les traités de commerce de 1860.

C'est de la manufacture de Tour-la-Ville que viennent les glaces qui ornent la grande galerie des fêtes du palais de Versailles; bien que les glaces de cette époque nous paraissent aujourd'hui fort ordinaires, elles avaient alors une valeur très-considérable; dans le devis des travaux du palais de Versailles, publié par M. Vatout, elles sont cotées 10 livres le pied quand elles ont 14 pouces de haut; 60 livres quand elles ont le double; 230 à 425 livres quand elles ont de 37 à 40 pouces de haut. On comprend qu'à ce taux la grande galerie des glaces, construite par Mansard de 1678 à 1683, ait coûté 654,600 livres.

Dans l'inventaire fait au décès de Colbert (1683) figure un grand miroir de Venise, de 46 pouces sur 26, bordé d'argent; il est estimé 8,016 livres 10 sols; un tableau de Raphaël appartenant à la même collection est évalué 3,000 livres seulement.

On peut aussi s'en rapporter, à cet égard, au témoignage du duc de Saint-Simon, l'historien de la cour de Louis XIV. On lit dans ses *Mémoires :*

« (1699). La comtesse de Fiesque mourut pendant Fontainebleau, extrêmement âgée... Elle n'avait presque rien, parce qu'elle avait tout fricassé ou laissé piller à ses gens d'affaires; tout au commencement de ces magnifiques glaces, alors fort rares et fort chères, elle en acheta un parfaitement beau miroir. « Hé, comtesse, lui dirent ses amis, où avez-vous pris cela ? — J'avais, dit-elle, une méchante terre, et qui ne me rapportait que du blé; je l'ai vendue, et j'en ai eu ce miroir. Est-ce que je n'ai pas fait merveille? du blé ou ce beau miroir. »

La prospérité de la manufacture de Tour-la-Ville ne fut pas de longue durée : Richard Lucas de Nehou étant mort, Pierre de Bagneux lui succéda et obtint, sur le rapport de Louvois, un nouveau privilége de trente ans, à partir du 1er janvier 1684. Néanmoins ce privilége était moins exclusif que ceux qui avaient été octroyés antérieurement; car, à la même date, Louvois avait accordé aux intéressés de la verrerie de Ponthieu, en Normandie, la faculté d'envoyer à Paris du *verre brut propre à faire des glaces*, pour y être douci et poli par les pensionnaires de l'hôtel des Invalides qui venait d'être fondé. Un autre privilége était accordé par le même ministre à une verrerie des environs de Montmirail; il fut racheté, en 1704, par la compagnie de Saint-Gobain.

En l'année 1688 commence une ère nouvelle pour l'industrie des glaces : « Un bourgeois de Paris, Abraham Thévart, représente au roi qu'il a découvert le secret de fabriquer des glaces d'une grandeur extraordinaire; que, par le moyen des machines qu'il a inventées, il peut fabriquer des glaces de 60 à 80 pouces de hauteur et au-dessus, 35 à 40 pouces et plus de largeur; et, sur le rapport de Louvois, le roi accorde pour trente ans, par des lettres patentes du 14 décembre 1688, à Abraham Thévart le privilége de fabrication des *grandes* glaces au-dessus de 60 pouces sur 40, laissant à Pierre de Bagneux le privilége de fabriquer les *petites* glaces au-dessous de ces dimensions et leur concédant, à l'un et à l'autre, avec la plupart des droits exorbitants contenus dans l'acte de 1665, la faculté de visiter leurs usines

respectives, avec défense de se servir des mêmes machines, ouvriers et *matières*. Il était prévu que Thévart voudrait se servir des morceaux de grandes glaces brisées et on le lui défendait. En résumé, on leur accordait le privilége de se faire la guerre.

« Thévart, qui se dit ici l'inventeur d'un nouveau procédé, paraît n'avoir été que le prête-nom d'associés qui voulaient faire concurrence à la compagnie de Bagneux. Son nom figure uniquement dans les actes de procédure. Il s'attribue un mérite qu'il est juste, comme nous le verrons, de restituer à Lucas de Nehou ; et, s'il en fallait une preuve, il la fournit lui-même en appelant Louis Lucas de Nehou, qui quitta la compagnie de Bagneux et parvint à fabriquer, par le procédé du coulage, des glaces si grandes et si belles que le roi voulut les voir. Les quatre premières glaces coulées furent présentées à Louis XIV en 1691.

« L'habile verrier persuada aux associés de chercher hors de Paris quelque lieu où les choses fussent moins chères, et ils achetèrent du domaine royal l'ancien château de Saint-Gobain, près la Fère, tout en ruines, assez bien disposé néanmoins *à cause de la proximité des bois et de la rivière d'Oise descendant à Paris;* ils y élevèrent plusieurs bâtiments, *tant pour la fabrication que pour le logement des gentilshommes, commis et ouvriers*. De nouvelles lettres patentes, de février 1693, renouvellent à Abraham Thévart le droit de prendre en tous lieux du royaume les matières nécessaires à sa fabrication, l'exemption de tous droits pour le transport de ses produits, de tous

impôts pour son personnel et la faveur de mettre aux portes de l'établissement un portier à la livrée royale, les armes de France et le titre de *Manufacture royale des grandes glaces.* » (M. Aug. Cochin.)

Louis Lucas de Nehou fit avec les associés d'Abraham Thévart un traité par lequel ceux-ci lui abandonnèrent la fabrication installée à Saint-Gobain, à condition de leur fournir des glaces coulées à un prix convenu ; ce traité fut exécuté pendant quelques années.

D'après ces renseignements, il semble établi que c'est à tort qu'on avait attribué à Thévart l'invention du procédé de coulage des glaces : d'après des recherches faites dans les archives de Saint-Gobain et les traditions conservées chez quelques anciens ouvriers de cette usine, l'inventeur serait Louis Lucas de Nehou ; Abraham Thévart n'aurait été que le prête-nom d'une société de capitalistes qui obtint, en 1688, un privilége de trente années pour exploiter le nouveau procédé. Dans la fête instituée, en 1865, pour célébrer le deuxième centenaire de la fondation de la Manufacture de Saint-Gobain, le conseil d'administration de cette Compagnie a consacré les droits de Louis Lucas de Nehou qui, *inventa, en 1691, la méthode de couler les glaces et installa la manufacture, en 1695, dans le château de Saint-Gobain, où il est mort, en 1728.* Cette inscription, gravée sur une plaque de marbre, est posée à la porte de la chapelle de Saint-Gobain. Le même jour, dans un remarquable discours, le Président du Conseil d'administration de cette Compagnie, M. le duc de

Broglie, évoquant, au banquet donné pour fêter cet anniversaire, la présence de Louis Lucas de Nehou, fait assister les invités aux surprises de ce *revenant,* appelé à constater *de visu* toutes les modifications que la science, l'industrie, le commerce et les progrès sociaux ont, en deux siècles, fait subir à son œuvre.

Malgré ces témoignages, il reste encore quelque doute sur le nom du véritable inventeur du procédé de coulage des glaces. Les documents qui attribuaient cette découverte à Abraham Thévart venaient aussi des archives de l'Administration de Saint-Gobain. Ainsi que le fait remarquer M. Bontemps, le plus important est le privilége du roi en date du 14 décembre 1688:

« Louis, par la grâce de Dieu, etc. Notre cher et bien amé Abraham Thevart, bourgeois de notre bonne Ville de Paris, Nous a représenté que, depuis plusieurs années, il se serait appliqué à rechercher les secrets et moyens de faire des glaces d'une beauté et grandeur extraordinaires... et qu'après plusieurs épreuves, il en aurait enfin découvert le secret, en sorte que, par le moyen des machines qu'il a inventées, il pourrait fabriquer des glaces de 60 à 80 pouces de hauteur et au-dessus sur 35 à 40 et plus de largeur... A ces causes... avons accordé et octroyons audit sieur Thevart, ses héritiers et ayants cause, de fabriquer où bon leur semblera des glaces de 60 pouces de haut sur 40 pouces de large et de toutes autres hauteurs et largeurs au-dessus, sans qu'ils puissent en faire au-dessous desdits volumes ni employer en œuvre, vendre ni débiter, sous prétexte de rupture, des petites glaces...

« Donné à Versailles, le quatorzième jour de décembre l'an de grâce 1688, et de notre règne le quarante-sixième.

« *Signé :* LOUIS. »

Aucun des anciens auteurs qui ont écrit sur l'art de la verrerie ne parle de Louis Lucas de Nehou; tous, notamment Haudicquer de Blancourt, Bosc d'Antic, Allutt, Loysel, attribuent à Abraham Thévart la découverte du procédé de coulage.

Quel que soit, d'ailleurs, le nom de l'inventeur de ce procédé, nul ne peut contester l'origine toute française de cette grande découverte qui, transformant un objet de luxe en un produit de consommation générale, donne à un mélange de sable, d'alcali et de pierre calcaire une valeur qui dépasse annuellement 60 millions de francs.

Avant d'arriver à l'état de prospérité que possède, depuis longtemps déjà, la manufacture de Saint-Gobain, celle-ci a traversé nombre d'épreuves, a subi bien des luttes et bien des concurrences. Ainsi, dès le moment de sa création, la compagnie des glaces soufflées de Tour-la-Ville ne vit pas sans jalousie le privilége accordé à la nouvelle société; il s'éleva bientôt des contestations sur l'étendue du privilége de chacune d'elles, surtout à cause de la lacune qui existait entre la grandeur de 45 pouces, terme des plus grandes glaces soufflées, et celle de 60 pouces sur 40 à laquelle commençait le privilége des glaces coulées; d'ailleurs ces dernières, venant à se briser, donnaient des morceaux dont les propriétaires voulaient profiter. Ces difficultés ne furent terminées que par la réunion des deux établissements rivaux, qui eut lieu en 1695. Dès 1691, les ateliers de coulage, établis à Paris rue de Reuilly, avaient été transportés à Saint-Gobain, dans le département de l'Aisne; le

travail mécanique de glaces brutes, c'est-à-dire le dégrossissage et le polissage, était seul conservé à Paris. On y soumettait au même travail les glaces soufflées de Tour-la-Ville.

Ces arrangements ne produisirent pas les effets qu'on en attendait, et les affaires des deux compagnies réunies tombèrent en 1701 dans une telle décadence, que les ouvriers se dispersèrent et allèrent porter à l'étranger l'art de couler les glaces. On s'empressa néanmoins de les rappeler en fondant une nouvelle société, avec privilége exclusif octroyé par lettres patentes, en 1702, à Antoine Dagincourt et C[ie]. C'est de cette époque que date l'ère de prospérité, depuis non interrompue, de la manufacture de Saint-Gobain.

Néanmoins, pendant cinquante ans, la qualité des produits de cette usine laissait beaucoup à désirer, aux dires de Drolenvaux, maître de la verrerie de Lettenbach, près Saint-Quirin, et de Bosc d'Antic, auquel on doit des travaux intéressants sur l'art de la verrerie, et qui fonda, il y a un siècle environ, une manufacture de glaces à Rouelles, en Bourgogne.

En 1756, Pierre Deslandes, directeur de Saint-Gobain, introduisit dans la fabrication de notables perfectionnements; c'est lui qui substitua aux soudes brutes d'Alicante le sel de soude qu'il en faisait extraire, et qui ajouta de la chaux à la composition pour remplacer les matières terreuses que le lessivage en retirait. Plus tard, des savants éminents, Clément Desormes, Gay-Lussac, Pelouze, donnèrent successivement à cette usine leurs conseils pour la

partie chimique de la fabrication, habilement dirigée aujourd'hui par MM. Biver, Fremy, Chevandier de Valdrôme, etc.

La fabrication des glaces soufflées fut entièrement abandonnée au commencement de ce siècle; celle des produits chimiques fut établie sur une vaste échelle à Chauny, près Saint-Gobain.

La société de Saint-Gobain sut conserver, pendant fort longtemps, le monopole de la fabrication des glaces en France, monopole qui n'a cessé, en réalité, que depuis un petit nombre d'années. Néanmoins son état prospère lui suscita à diverses époques des concurrences sérieuses, notamment celles des glaceries de Commentry et de Prémontré achetées et éteintes par Saint-Gobain. Au commencement de ce siècle, la verrerie de Saint-Quirin, après avoir fait en France les premiers verres à vitre par le procédé des cylindres, et avoir ajouté à cette fabrication celle des glaces soufflées qui lui ressemble beaucoup, entreprit, avec un plein succès, le coulage des glaces. Longtemps avant l'expiration du bail emphytéotique en vertu duquel elle avait en location, de 1740 à 1840, les domaines des moines de Saint-Quirin, elle avait successivement transporté à Cirey la partie la plus importante de sa fabrication. Pendant vingt-cinq ans environ, les glaces de Saint-Gobain et de Cirey se firent concurrence; mais en 1830, les deux compagnies adoptèrent pour la vente de leurs produits le même tarif et le même dépôt; elle sont aujourd'hui fusionnées. La glacerie établie en 1845 à Montluçon (Allier), a été également acquise par la

compagnie de Saint-Gobain qui possède aussi une fabrique de glaces à Stolberg, près Aix-la-Chapelle, et une autre à Waldhof, près Manheim: ces deux usines avaient été fondées dans le but de vendre leurs produits en Allemagne; elles y ont actuellement à lutter dans ce pays contre trois fabriques nouvellement créées à Walburg, à Cramplan et à Freden; mais la production de ces derniers établissements est jusqu'à présent peu importante.

Il existe, en outre, en France trois autres manufactures de glaces : les glaceries de Recquignies et Jeumont (Nord), créées, il y a environ quinze ans, par les sociétés belges de Sainte-Marie d'Oignies et de Floreffe, et celle de M. Patoux, à Aniche (Nord).

La fabrication des glaces coulées a pris, en Angleterre et en Belgique, un grand développement. Comme en France, elle est concentrée dans un petit nombre d'usines. Il ne saurait en être autrement, en raison des capitaux très-considérables qu'exige la création d'une fabrique de glaces, et de l'énorme quantité de produits qu'elle peut fournir par un travail régulier et sans chômage.

L'Angleterre est le pays qui fabrique et qui consomme la plus grande quantité de glaces, non pas comme miroirs, car ils sont encore assez rares, même dans les habitations somptueuses, mais pour les vitrages. L'exportation des glaces anglaises est, en outre, considérable et se fait en concurrence des glaces françaises; celles-ci ont pour elles la qualité, les autres le bon marché. On compte en Angleterre six ou sept fabriques de glaces coulées; la

plus ancienne a été fondée en 1773, à Revenhead, près Sainte-Hélène, dans le Lancashire, à l'instar de Saint-Gobain. Les procédés de ce dernier établissement ont été d'ailleurs suivis, autant qu'on a pu le faire, dans toutes les glaceries qui ont été successivement établies en France et à l'étranger.

Cette usine de Revenhead présente cette particularité que, quand elle a commencé à travailler, les glaces, qui, dès cette époque, ne se fabriquaient plus qu'à Saint-Gobain, étaient dégrossies et polies à la main. En 1788, la compagnie anglaise commanda à Boulton et Watt, de Birmingham, une machine à vapeur qui paraît avoir été la seconde établie par ces célèbres constructeurs; l'année suivante, le travail mécanique remplaçait le travail manuel.

Il existe en Belgique quatre manufactures de glaces; Sainte-Marie d'Oignies fondée en 1840; Floreffe dont la création remonte à l'année 1853; Courcelles et Roux, près Charleroi. Cette dernière a commencé sa fabrication en 1869; elle appartient à la société anonyme des glaces et verreries du Hainaut. A chacune de ces usines est annexée une importante fabrique de produits chimiques.

Enfin pour compléter la liste des glaceries actuellement existantes, qui sont, avec celles d'Amérique, au nombre de vingt-huit environ, nous devons mentionner les glaces de la maison Amelung et fils, à Dorpat (Russie) qui figuraient à l'Exposition universelle de Vienne en 1873; une fabrique, fondée en 1869, par MM. A. Ziegler fils, à Staukau (Bohême), existe aussi en Autriche.

D'après les données fournies au Conseil supérieur du commerce à l'occasion de l'enquête relative à l'exécution du traité de commerce avec l'Angleterre, la production des glaces, en 1860, était approximativement représentée par les quantités suivantes :

			Mètres superficiels.
France. . .	Cinq fabriques. —	Saint-Gobain et Cirey.	200,000
—	—	Montluçon	50,000
—	—	Jeumont et Recquignies.	55,000
Angleterre .	Six fabriques.		350,000
Belgique . .	Deux fabriques.		110,000
Zollverein. .	Manheim.		70,000
		Total.	835,000

En 1867, la production totale était de 950,000 mètres ; depuis cette époque, elle a considérablement augmenté ; elle atteint actuellement 1,500,000 mètres superficiels qui, à raison de 40 francs le mètre, en moyenne, pour la glace polie, représentent une valeur de 60 millions de francs; elle est en France de 500,000 mètres dont les quatre cinquièmes environ proviennent des usines de la Compagnie de Saint-Gobain. On fabrique, en Angleterre, 500,000 mètres de glaces brutes ou coulées à la poche qui, dans ce pays, reçoivent, en raison de leur bon marché, des emplois qui n'existent pas chez nous. En Belgique, la production est, cette année, de 215,000 mètres. En ajoutant 250,000 mètres pour les autres pays, on atteint le chiffre indiqué ci-dessus auquel il faudrait ajouter la production américaine que nous ne connaissons pas.

On voit que les glaces polies et brutes couvriraient aujourd'hui une surface de 150 hectares. Nous sommes bien loin du temps (2 juin 1673) où Colbert écrivait, en refusant les offres d'un Italien qui proposait de fabriquer des grandes glaces : « Cela pourrait faire du tort aux intéressés et d'ailleurs il n'y aurait aucun débit de grandes glaces dans le royaume ; il n'y a que le roi qui puisse en avoir besoin. » Leur prix très-élevé en limitait beaucoup la vente : dans un mémoire fait bien plus tard, en 1757, par divers maîtres de verreries dans le but de s'opposer à une nouvelle prorogation du privilége de Saint-Gobain, on lit « qu'il est inévitable que bientôt tout ce qui est susceptible de glaces n'en soit rempli ; le peu qui s'en casse suffit à maintenir le travail ».

En ce qui concerne la qualité, on ne saurait nier que les glaces de France et de Belgique soient supérieures aux autres, notamment aux glaces anglaises ; aussi les neuf dixièmes des glaces pour miroirs qu'on consomme en Angleterre viennent de France. La différence provient surtout des matières premières qu'il est beaucoup plus facile d'obtenir pures ou tout au moins exemptes de fer chez nous que chez nos voisins d'outre-Manche. Les glaces anglaises ont une teinte verdâtre qui nuit peu à leur emploi pour les vitrages, mais qui ne convient nullement pour les glaces destinées à réfléchir les objets.

Glaces soufflées. — Nous avons dit que la fabrication des glaces soufflées, façon de Venise,

n'existait plus chez nous depuis longtemps; toutes les glaces se font en France par le procédé du coulage.

Néanmoins cette industrie, qui de Venise avait été transplantée en Bohême où elle reçut de grands perfectionnements, se maintint encore longtemps en Allemagne. Les Bohêmes faisaient ainsi et font peut-être encore des glaces d'un assez grand volume. J'ai vu, en 1845, à l'Exposition de Vienne et à celle de Londres, en 1851, des glaces soufflées de 2m,25 de hauteur sur 1m,10 de largeur. Pour faire une glace de cette dimension, assez épaisse pour être polie, il avait fallu manier et souffler une masse de verre pesant environ 50 kilogrammes. Aussi ce travail exige-t-il des moyens auxiliaires particuliers et des ouvriers d'une habileté et d'une force exceptionnelles. Je ne le décrirai pas, attendu qu'il ne donne que des produits d'une qualité très-inférieure, surtout au point de vue de la planimétrie. Confinées dans quelques fabriques allemandes, ces glaces alimentent une consommation toute locale et elles sont destinées à disparaître devant les traités de commerce et la concurrence des glaces coulées.

Il existe en Bavière, à Furth, à Nuremberg, etc., plusieurs fabriques de petites glaces soufflées; ce sont des feuilles de verre à vitre assez épaisses pour être soumises aux procédés mécaniques de dégrossissage et de polissage. Ces miroirs, dits de Nuremberg, sont, en général, en verre bien affiné, mais d'une teinte assez verte; ils se vendent à très-bon marché; on les désigne en Allemagne

sous le nom *Judenmasspiegel* (miroir de mesure de Juif). Néanmoins la baisse de prix des glaces coulées rend leur fabrication de plus en plus restreinte.

MM. Chance fabriquent à Birmingham des verres à vitre faits par le procédé des cylindres, mais étendus avec des soins particuliers; les feuilles sont dégrossies et polies par des procédés qu'ils ont créés et qui probablement diffèrent peu de ceux qu'on emploie pour les miroirs de Nuremberg et pour les glaces coulées. Ces verres sont employés pour les vitrages de luxe, pour les encadrements, etc. Ce produit, qu'on connaît en Angleterre sous le nom de *patent glass*, représente dans ce pays, d'après M. Bontemps, une production annuelle de plus de 100,000 mètres carrés; il n'est pas fabriqué en France, bien qu'il y soit recherché, en raison de sa minceur et de sa planimétrie, par les photographes; les glaces ordinaires sont généralement trop épaisses, trop lourdes et surtout trop chères. Comme l'art photographique devient un consommateur important, il serait à désirer que nos fabriques voulussent bien s'assurer cette clientèle, qui en est réduite aujourd'hui à faire venir d'Angleterre et d'Allemagne les produits qu'elle consomme.

Fabrication des glaces coulées. — Les éléments du verre à glace sont la silice, la chaux et la soude. Les analyses qui suivent montrent que les proportions de ces éléments peuvent varier dans d'assez grandes limites.

Composition du verre à glace.

	N° 1.	N° 2.	N° 3.	N° 4.	N° 5.	N° 6.
	—	—	—	—	—	—
Silice.	73,2	72,0	75,2	74,5	75,0	71,0
Chaux.	13,6	8,5	6,9	4,7	6,5	14,3
Soude.	12,8	19,0	17,0	19,1	18,0	12,4
Alumine et oxyde de fer.	0,4	0,5	0,9	1,7	0,5	2,3
	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

N° 1. — Verre de Saint-Gobain.
N° 2. — Id. (ancienne fabrication).
N°s 3 et 4. — Verre à glace de deux fabriques anglaises ; analyse de M. Salvétat.
N° 5. — Verre de Ravenhead (Saint-Hellens) ; analyse de M. Benrath.
N° 6. — Verre d'Amelung, de Dorpat ; analyse de M. Benrath.

Un miroir de Venise, fait par le procédé des manchons, présentait la composition suivante[1].

Silice.	68,6
Chaux	11,0
Soude.	8,1
Potasse.	6,9
Magnésie.	2,1
Alumine	1,2
Oxyde de fer.	0,2
Oxyde de manganèse.	0,1
	98,2

1. « Ce verre provient d'anciennes glaces. Les opticiens s'en servent pour les instruments d'optique et prétendent qu'il est préférable au verre de Saint-Gobain, parce qu'il attire moins l'humidité. Vu sur la tranche, il a une légère teinte enfumée sans nuance de verre ni de bleu. La silice contient à peu près quatre fois autant d'oxygène que les bases. » (Berthier, *Ann. de chimie et de physique,* 1830.)

Les glaces fabriquées depuis une vingtaine d'années avec le sulfate de soude contiennent, en outre, une petite quantité de ce sel qui n'a pas été décomposé pendant la durée de la fusion du verre.

Le mélange (*composition*) qu'on employait il y a quelques années dans les usines françaises et étrangères était le suivant :

Sable blanc.	300 parties.
Sel de soude de 85 à 90°.	110 à 120
Pierre calcaire.	50 —
Calcin ou groisil (débris de glaces). . .	300 —

Dans quelques usines, la pierre calcaire est remplacée par 45 parties de chaux éteinte.

En supposant que ces matières soient pures, elles donnent à très-peu près par le calcul le verre ayant la composition de l'échantillon n° 5.

Autrefois la soude se trouvait, dans le verre à glace, en beaucoup plus grande quantité que la chaux; en faisant entrer cette dernière base en plus forte proportion, la qualité du verre a été notablement améliorée; il est, peut-être, plus difficile à fondre; mais il a plus de dureté, plus d'éclat, et surtout il n'a plus la propriété de s'altérer, de *ressuer*, de se couvrir d'efflorescence sous l'influence de l'humidité.

Aujourd'hui le dosage étant modifié et le sulfate de soude ayant fait place au sel de soude dont le prix est notablement plus élevé, le dosage actuel,

autant qu'on peut le connaître par le calcul, doit être le suivant:

Sable.	270
Sulfate de soude.	100
Pierre calcaire.	100
Charbon.	6 à 8
Calcin.	300

Ces proportions ne peuvent être qu'approximatives: elles doivent varier avec la pureté des matières premières et avec l'allure des fours de fusion.

On ajoute à la composition une quantité variable d'oxyde de manganèse et d'acide arsénieux.

Le choix des matières premières exerce l'influence la plus directe sur la qualité des glaces.

Le *sable* doit être aussi blanc, aussi exempt que possible de produits ferrugineux. En France et en Belgique, il vient de Fontainebleau ou des environs de Reims. En Angleterre, pour les qualités courantes, on se sert des sables du pays qui sont l'une des causes de la teinte verte des glaces anglaises.

Le sable est ordinairement lavé et débourbé pour séparer les parties argileuses, calcaires, ferrugineuses qu'il renferme; quelquefois on ajoute à l'eau de l'acide chlorhydrique; on prolonge le lavage jusqu'à ce que l'eau entraînée soit bien claire; le sable est ensuite parfaitement séché.

La substitution du *sulfate de soude* au sel de soude, qui remonte à l'année 1850 et qu'on doit à M. Pelouze, a réalisé un progrès important au point de vue de l'abaissement du prix de revient; mais on

assure, en Belgique, que la qualité des glaces n'a pas gagné à ce changement. Quoi qu'il en soit, à cet égard, ce sel ne peut pas être employé, comme il l'est dans les fabriques de verre à vitre, sans subir une purification préalable ; celle-ci a pour objet d'en écarter aussi complétement que possible l'acide sulfurique libre et le fer qu'il contient : dans ce but, le sulfate de soude est mélangé avec de l'eau et 5 pour 100 environ de chaux éteinte, de manière à faire une pâte qu'on traite, au bout de quelques jours, par de l'eau chaude dans un cuvier doublé de plomb : après avoir constaté, au moyen du papier de tournesol, la neutralité de la liqueur, on la concentre jusqu'à 30 degrés du pèse-sel de Beaumé ; après repos, on la décante et on l'évapore, en pêchant à l'écumoire les cristaux de sulfate de soude. Ce sel est ensuite desséché et on détermine, par des analyses précises, la très-petite proportion de fer qu'il renferme encore ; si cette proportion dépasse quelques cent millièmes, le produit n'est employé que pour le verre de qualité inférieure.

Les mêmes soins sont pris pour le choix du *calcaire :* avant de le pulvériser, on le concasse et on en sépare les morceaux qui paraissent contenir du fer. Sa couleur blanche n'est pas toujours un indice de pureté ; de plus, il peut être grisâtre sans être ferrugineux. Les glaceries de France et de Belgique font usage d'un calcaire saccharoïde venant de Montigny-le-Tilleul, près de Charleroi, dont la teinte ardoisée est due à des substances organiques.

Ces diverses matières sont employées sèches et

très-divisées; pesées à la bascule, elles sont mélangées à la pelle, en y ajoutant la proportion voulue de *calcin* en morceaux lavés et séchés.

Fonte du verre. — Les fabriques de glaces ont à leur disposition de très-vastes locaux, tant pour la fonte, le coulage et le recuit des glaces que pour leur polissage. Elles consomment, en outre, une quantité considérable de sels de soude dont la fabrication, à Chauny, dépendance de Saint-Gobain, à Aniche et dans les usines belges, est annexée à celle des glaces.

Le dessin ci-joint donne la disposition générale de la *halle*. C'est un très-vaste hangar, contenant les fours de fusion, l'outillage pour le coulage et les carcaises ou fours à recuire les glaces.

La forme et les dispositions des fours de fusion ont beaucoup varié; pendant cent cinquante ans, le verre fondu dans un pot était transvasé au moyen d'une poche en cuivre dans un autre pot ou *cuvette;* c'est vers 1850 que le *tréjètage* a été supprimé. Aujourd'hui on enfourne, on fond et on affine dans la même cuvette.

Les glaceries de Saint-Gobain et de Cirey doivent leur origine aux vastes forêts qui les environnent et qui leur a longtemps fourni le combustible végétal, le bois, dont elles faisaient usage; aujourd'hui elles emploient exclusivement la houille, ainsi que toutes les autres fabriques de glaces.

Il y a peu d'années, une des formes des fours à glaces, lesquels étaient ronds, ovales ou rectangulaires, était représentée par le dessin ci-contre, qui

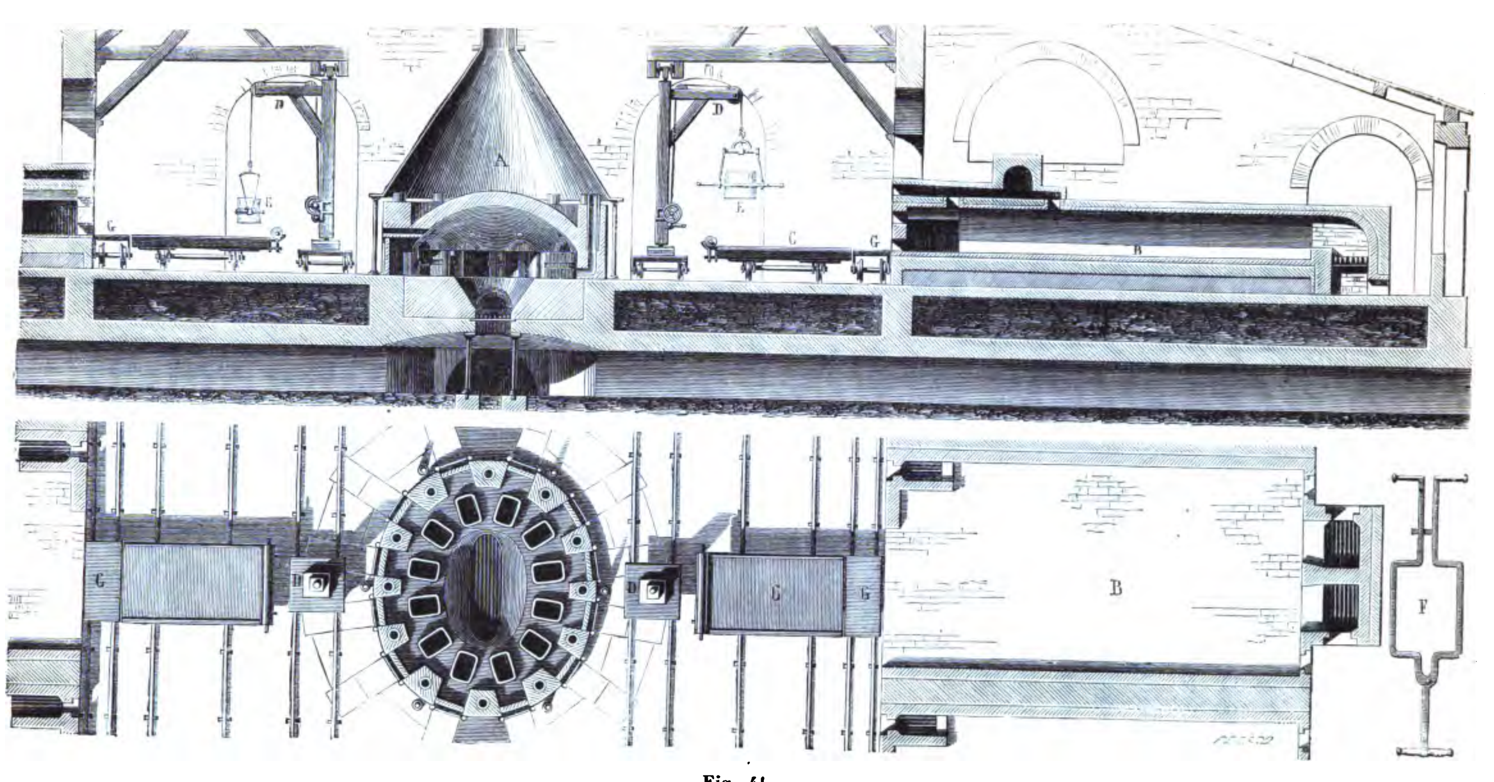


Fig. 41.

est emprunté à une intéressante publication de M. Valerio, ancien directeur de la glacerie d'Aix-la-Chapelle[1]. Aujourd'hui, dans presque toutes les usines, ces fours sont remplacés par les fours du système Siemens ou du système Boétius; on a réalisé, par l'emploi de ces nouveaux appareils, une notable économie de combustible. En dehors des dispositions adoptées pour les fours de fusion, la construction et la manœuvre des appareils sont restées les mêmes. Nous décrirons d'abord l'ancien four, avant de parler de ceux qui l'ont remplacé.

Le four de fusion à douze cuvettes, représenté par le dessin, est elliptique et de système belge.

La grille, dont la largeur est de $0^m,60$, occupe toute la longueur du four, soit $5^m,30$. Autour de la grille, règne symétriquement une banquette ou siége sur laquelle sont placés les pots ou cuvettes renfermant les matières à fondre.

Douze ouvreaux, dont le seuil est au niveau de la banquette, servent à introduire et à sortir les pots. Ils sont fermés avec une grande brique qu'on nomme *tuile d'ouvreau.* Au-dessus de ces portes sont des ouvertures plus petites, qu'on ferme avec des plaques en terre réfractaire percées de plusieurs trous, ce sont les *pigeonniers.* En enlevant ces plaques, les ouvriers introduisent la composition dans les pots, au moyen de pelles ayant la forme de boîtes carrées fixées à l'extrémité d'un long manche. Les

1. *Industrie des glaces*, par M. Valerio. *Revue universelle des mines, de la métallurgie*, etc., dirigée par M. de Cuyper, livraisons de juillet 1857 et de janvier 1859.

trous du pigeonnier permettent de juger de la température du four ; ils sont bouchés avec de la terre pendant une partie du temps nécessaire à la fonte.

La grille est découverte sur les deux tiers environ de sa longueur; à ses extrémités, elle passe sous une tonnelle ou voûte pratiquée dans le massif du siége. Au-dessous se trouve une voûte circulaire ou *rond-point*, à laquelle viennent aboutir quatre galeries qui se coupent à angle droit, pour amener l'air nécessaire à la combustion.

Des escaliers conduisent de la halle au rond-point, où l'ouvrier tiseur doit souvent descendre pour piquer son feu. Le sol autour du four est formé de dalles en fonte, afin d'avoir une aire unie et résistante pour la manœuvre des cuvettes.

Toutes les briques ou pièces de l'intérieur du four sont en matériaux aussi réfractaires que possible. On le construit ordinairement en briques crues, c'est-à-dire qui ne reçoivent la cuisson que par la mise en feu du four. Le siége est d'un seul morceau ; il est fait avec un mélange, dans les proportions convenables, de terre crue pulvérisée et de terre calcinée en gros grains. Ce mélange, légèrement humecté d'eau, est énergiquement pilonné avec des dames en bois ; le battage peut seul relier entre elles toutes les parties qu'on ajoute par couches superposées et leur donner de l'homogénéité. A mesure que le siége se monte, on fait suivre une corde de chanvre arrêtée à un de ses bouts et servant de guide au travail ; on la laisse emprisonnée dans la masse. Quand le four est achevé, on y fait un feu

très-doux pendant les premières semaines; autrement le siége, fait d'ailleurs avec de bons matériaux, serait promptement détruit. Lorsque la chaleur pénètre dans la masse, les cordes brûlent en laissant des vides qui facilitent le dégagement de l'humidité.

Quand le four est en activité, la flamme monte à la voûte du four, circule autour des cuvettes et s'échappe dans les petites cheminées, pratiquées dans les pieds-droits du four, pour se rendre dans une grande cheminée centrale en tôle (fig. 41, A), munie d'une hotte qui recouvre tout le four et entraîne au dehors les produits de la combustion.

Enfin, dans quelques fours, une sorte de chemise composée de douze rideaux en tôle, tournant sur charnières, ferme l'espace compris entre le dessous de la hotte et la partie supérieure des ouvreaux, de sorte que les pigeonniers sont masqués par ces rideaux, et que l'air froid n'afflue pas sous la hotte. A Floreffe, ces rideaux descendaient jusqu'au sol de la halle; le tirage était tellement actif qu'on pouvait s'enfermer sous cette chemise sans ressentir une trop forte chaleur.

Le four est placé dans l'axe d'une halle de 26 mètres de largeur qui contient quatre fours espacés de 16 mètres, de centre à centre; de chaque côté des fours, et parallèlement au grand axe de la halle, sont placés symétriquement les fours à recuire les glaces ou *carcaises*, B.

De distance en distance, à la place d'une carcaise se trouvent des fours à cuire les cuvettes et les briques.

La table à couler, C, se meut sur des galets et des rails en fer ; à l'un de ses bouts se trouve la grue mobile, D, destinée à manœuvrer les cuvettes.

Depuis une dizaine d'années, les anciens fours à grille sont remplacés par des fours du système Siemens, ou du système Boétius. Les fours Siemens sont placés aux extrémités de la halle dont la largeur se trouve notablement diminuée : ils contiennent 8, 12, 16, 24 cuvettes ; leur forme est rectangulaire, en forme de berceau. Deux rangées de piliers en grosses briques réfractaires supportent la voûte : ces piliers sont assez écartés pour permettre l'entrée et la sortie des cuvettes.

La voûte est construite en briques très-siliceuses et la sole, formée de dalles en terre réfractaire, repose sur des canaux, avec circulation d'air pour la rafraîchir. Des ouvertures ménagées à ses extrémités servent à l'entrée des gaz et de l'air chauffés dans les régénérateurs et à la sortie des produits de la combustion. Dans quelques fours, une ouverture est percée au centre, pour laisser écouler le verre liquide qui déborde des cuvettes pendant la fonte ; mais cette ouverture s'agrandit, détériore le massif et permet l'introduction de courants d'air froid qui compromettent la durée des cuvettes : aussi dans beaucoup de glaceries, le verre s'écoule par les portes d'entrée. Celles-ci, au nombre de 6 pour un four à 12 cuvettes, s'ouvrent et se ferment au moyen de chaînes et de cabestans.

La construction du four doit être très-solide ;

sous la sole se trouvent les chambres des quatre régénérateurs qui s'enfoncent en contre-bas à 4 mètres de profondeur; ces caves sont remplies, aux 4/5mes de leur hauteur, de briques réfractaires à claire-voie, empilées de manière à permettre la circulation de l'air, des gaz et des produits de la combustion. Ces briques doivent être remplacées tous les six mois; la partie supérieure en est fondue et vitrifiée et la partie inférieure est remplie de poussières entraînées par les gaz.

Nous avons donné (pages 108 et suivantes) les dispositions d'un four Siemens, avec creusets couverts pour la fonte du cristal : elles sont les mêmes

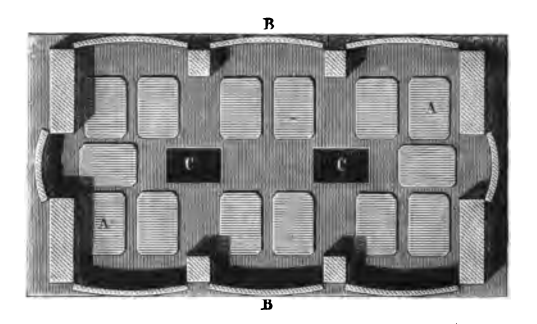


Fig. 42.

pour les glaceries, sauf celles qui concernent les pots servant à la fonte et à la manœuvre du verre : le plan ci-dessus est celui d'un four à glace du système Boétius à 14 cuvettes; la flamme des générateurs se dégage par les ouvertures C; les plaques B sont mobiles pour la sortie et l'entrée des cuvettes A.

La durée d'un four Siemens est, en moyenne de six mois, au bout desquels il faut tout renouveler,

à l'exception des murs des cages, des gazogènes et des conduits ou siphons.

Dans le but d'apprécier les degrés de chaleur qui conviennent aux différentes phases de la fusion, M. F. Del Marmol, auquel nous avons fait de nombreux emprunts en ce qui concerne l'état actuel de la fabrication des glaces, fait usage d'un photomètre d'une construction assez simple, qui est, en même temps, une sorte de pyromètre. C'est un assortiment d'une quarantaine de lames superposées en verre bleu, de même teinte, mobiles autour d'un axe. En fixant un point lumineux, on arrive à éteindre la lumière par l'interposition d'un nombre variable de ces verres : on peut ainsi apprécier l'intensité de la lumière et même le degré de la chaleur d'un four lorsque l'observation est faite sur les mêmes substances soumises à des températures lumineuses [1].

Les cuvettes sont, suivant les usines, tantôt à section rectangulaire avec les angles arrondis, tantôt rondes ou ovales. Les dernières paraissent devoir être préférées, parce qu'elles occupent moins de place dans le four. Elles ont de 75 centimètres à 1 mètre de hauteur ; leur épaisseur est de 6 à 7 centimètres pour les côtés et de 10 centimètres pour le fond. Elles contiennent de 300 à 500 kilogrammes de verre fondu. Elles portent à la ceinture, sur leur pourtour extérieur, vers le milieu de la hauteur, une rainure creuse qui permet de les saisir fortement avec

1. *De l'état actuel de la fabrication des glaces*, par M. Del Marmol. — *Revue universelle des mines, de la métallurgie*, etc., de M. de Cuyper, 2me semestre. 1875.

les tenailles (fig. 41, F). Leur confection est la même que celle des pots ordinaires de verrerie ; la façon doit en être aussi soignée que possible, car elles sont exposées à plus de fatigue. Lorsque leur fabrication est terminée, on les séche à l'étuve pendant quatre à six mois ; on les cuit dans un four spécial, qui en renferme toujours cinq à six, et on les introduit déjà rouges dans le four de fusion. Une cuvette de bonne qualité fournit, en moyenne, 25 à 30 coulées.

Fours à recuire ou carcaises. — La carcaise est un four à voûte surbaissée recouvrant une sole réfractaire formée par des briques mobiles dans une couche de sable ; un massif en maçonnerie supporte ce pavement, dont la construction exige des soins particuliers : les briques, bien dressées sur toutes leurs faces, sont placées de champ, reposant sur une couche de sable tamisé, d'un grain uniforme et bien sec ; elles sont juxtaposées, sans ciment, toutes les parties de la sole devant se dilater librement : le dresseur de carcaises vérifie souvent, au moyen d'une longue règle et d'un niveau, la sole de ces fours qui doit être parfaitement plane.

Deux foyers, quelquefois un seul, chauffent la carcaise à l'arrière ; un autre, qu'on a supprimé aujourd'hui dans plusieurs glaceries belges, la chauffe à l'avant. Une large ouverture met la sole au niveau soit de la table à couler, pour entrer les glaces, soit de la table mobile en bois, pour les défourner lorsqu'elles sont recuites.

Autrefois les carcaises étaient fort grandes : elles

avaient jusqu'à 80 mètres carrés; elles recevaient six à dix glaces; cette superficie a été réduite de moitié environ : elles ne contiennent plus que deux à quatre glaces.

Deux conditions sont à remplir dans la construction de ces fours : le refroidissement doit être rapide; la casse doit être évitée.

Pour hâter le refroidissement, on a remplacé le massif sous la sole par des murs reliés entre eux par des voûtes; ou bien on a intercalé, entre ce massif et le pavement, des tuyaux en terre réfractaire traversés par un courant d'air froid; le refroidissement, qui se faisait en quatre à cinq jours, a lieu en quarante-huit heures.

Quant à la casse, on l'évite surtout, d'après M. Del Marmol, en ayant un nombre suffisant de carcaises à une seule glace, d'une superficie de 25 mètres seulement; on obtient en même temps, par l'adoption de ce mode de travail, un surcroît de production; en effet, un four à 12 cuvettes, qui donnait 2,800 mètres de glaces coulées par mois, en fournit 4,000 et même 4,200, avec le système de carcaises à une seule glace. La production est augmentée d'un tiers environ, tandis que la main-d'œuvre est restée la même et que la consommation du combustible ne s'est accrue que dans la proportion exigée par la fusion d'une plus grande quantité de verre. Avec un nombre suffisant de carcaises, la production serait normalement de 4,300 mètres par mois, soit plus de 50,000 mètres par an pour un four à 12 cuvettes.

Malgré les améliorations apportées dans la construction de ces fours à recuire, de grands progrès sont encore à réaliser pour cette partie du travail des glaces. On a essayé sans grand succès divers systèmes, notamment le chauffage au moyen des gaz des fours Siemens ou autres. Il est néanmoins permis de penser que pour les petites glaces et pour celles de dimension moyenne, des fours dont la plate-forme serait mobile, construits d'après les principes des fours Bièvez, pourraient fonctionner en abrégeant beaucoup la durée du recuit; il paraît établi, en effet, que par le refroidissement simultané des deux côtés du verre, le recuit se fait d'une façon beaucoup plus sûre et plus rapide. Mais des tentatives de ce genre sont fort coûteuses et on conçoit qu'elles n'aient pas encore été faites.

Supposons qu'une coulée vient d'être faite; le four de fusion est garni de ses cuvettes vides, qu'on vient de replacer successivement sur leur siége. Le tiseur réchauffe son four. Quelques heures après, on enfourne une partie de la composition de manière à remplir les cuvettes. La matière, en fondant, prend un retrait considérable, et bientôt elle n'offre plus que le tiers ou le quart de son volume primitif. Trois heures après, on fait un deuxième enfournement, puis un troisième, après un même laps de temps. Si la fonte ne se fait pas également bien dans toutes les cuvettes, le tiseur s'en aperçoit et fait mettre quelques pelletées de calcin dans le pot qui se trouve en retard.

Sept à huit heures après, le verre est fondu; mais il est rempli de bulles, qu'un feu violent et soutenu doit faire disparaître; ces bulles se produisent en abondance au moment de la formation du verre; elles reparaissent plus tard, d'après un travail récent de M. Fremy, par suite de l'action du charbon et du sulfure de sodium sur le sulfate de soude. C'est le *point* que l'on détruit surtout par l'emploi des bûchettes qu'on met en contact avec la masse vitreuse. L'*affinage* dure cinq à six heures.

Au bout de ce temps, le verre a pris une transparence complète : seulement il est trop chaud, trop liquide pour être coulé. Il faut le laisser reposer pendant quelques heures dans les cuvettes, en modérant la température, dans le but de lui donner un état convenablement pâteux; cette phase de la fonte est ce qu'on nomme *faire la braise*.

En somme, la *fusion des matières*, l'*affinage*, la *braise* durent vingt-quatre heures. On coule, par exemple, tous les matins, de six heures à sept heures. Dans quelques établissements, la coulée se fait au bout de dix-huit à vingt heures.

Pour les glaces de qualité inférieure, qu'on emploie à l'état brut pour couvertures, cloisons, etc., glaces dont la consommation, considérable en Angleterre, est à peine connue chez nous, la fonte peut être plus rapide, et la coulée se faire toutes les quatorze heures. On obtient ainsi, avec des frais généraux qui restent les mêmes, une quantité beaucoup plus considérable de produits. La difficulté la plus sérieuse que les glaceries aient à surmonter est,

avec les prix actuels, de trouver pour leurs produits de nouveaux consommateurs. Quelquefois elles ont été réduites, pendant une partie de l'année, à un chômage désastreux dû à la rapidité de leur travail et à l'encombrement de leurs magasins.

La consommation d'un four ordinaire est de 5,000 à 7,000 kilogrammes de houille par coulée ; un four à douze cuvettes peut fournir 80 à 100 mètres superficiels de glaces de 10 millimètres d'épaisseur, pesant 25 kilogr. le mètre carré, soit 2,000 à 2,500 kilogr.

Les résultats suivants, qui m'ont été communiqués par M. Henroz, l'habile directeur de la glacerie de Floreffe, donnent une idée précise de cette partie du travail.

Un four ancien à douze cuvettes consomme par vingt-quatre heures 6,550 à 6,700 kilogr. de charbon demi-gras de Charleroi. (Un four du système Siemens réalise sur le combustible une économie de 35 à 40 °/₀.)

Les douze cuvettes ont reçu 4,363 kilogr. de composition, qui ont donné :

	Kilogr.
Glaces équarries ou représentées en groisil.	2,142
Pertes à la fusion et têtes de glaces.	443
Curage des cuvettes à la coulée.	500
Écrémage du verre.	345
Verre séparé avec les mains en cuivre. Lèche-frite. .	245
Groisil sale	24
	3,699

soit 664 kilogr. ou 15,2 pour 100 perdus par volatilisation et par débordement du verre.

Les 2,142 kilogr. de glaces équarries ou représentées en groisil équivalent aux 49 centièmes de la composition introduite dans les creusets.

Coulée. — La *coulée* des glaces est l'une des opérations industrielles les plus hardies, les plus curieuses qu'on puisse voir. Elle exige beaucoup d'ensemble et de promptitude. En moins d'une heure, il faut couler douze glaces, ayant chacune, en moyenne, de 6 à 8 mètres superficiels, les enfourner dans les carcaises et rentrer les cuvettes dans le four. M. Valerio compare cette opération à la manœuvre d'une pièce d'artillerie, près de laquelle chaque homme est à son poste, attentif au commandement du chef.

Des ouvriers enlèvent vivement, avec une longue fourche montée sur roues, la tuile d'ouvreau qui masque le creuset en introduisant les extrémités de la fourche dans les deux trous pratiqués dans cette tuile ; ils la déposent contre la paroi extérieure du four. Dans les fours nouveaux, elle est soulevée et maintenue en l'air par des chaînes et un cabestan. La cuvette est aussitôt saisie à la ceinture avec une grande tenaille montée sur roues ; on pèse sur elle et on l'enlève pour la poser sur un petit chariot en fer qu'on traîne au pas de course au pied de la grue ou potence. On *écrème* le verre. Cette opération consiste à enlever, au moyen d'instruments plats ou recourbés qu'on nomme *sabres*, *grappins*, etc., les impuretés qui se trouvent à la surface du verre.

Une tenaille terminée par deux longues branches saisit la cuvette à sa ceinture ; elle est suspendue par des chaînes en fer qui passent sur une poulie située au haut d'une grue mobile et qui s'enroulent sur un tambour placé à la partie inférieure de cette machine. On nettoie la cuvette à l'extérieur afin qu'aucune ordure ne puisse tomber sur la table.

Au-dessous de la cuvette ainsi suspendue (fig. 41, E) se trouve la table en fonte C sur laquelle le verre va s'étaler. Elle a 6 à 7 mètres de longueur sur 4 de largeur et 0m,20 d'épaisseur; elle pèse 35 à 40,000 kilog.; reposant sur des galets, elle peut être mise en mouvement et transportée d'une carcaise à l'autre. Elle est chaude et elle vient d'être nettoyée ; elle est munie de chaque côté, dans le sens de sa longueur, des tringles mobiles qui doivent donner à la glace son épaisseur et sa largeur : sur ces tringles repose le rouleau en fonte servant à laminer le verre. Ce rouleau pèse 3,500 kilogrammes. Dans plusieurs glaceries, pendant le laminage, il est suivi, pendant sa marche, d'un deuxième rouleau du poids de 300 kilog. qui donne à la glace une surface plus lisse.

Enfin la carcaise, située à l'un des bouts de la table et au même niveau, est à la température voulue pour recevoir les glaces qu'on va couler : on a passé sur sa sole un grand râble en bois pour la nettoyer et pour égaliser le peu de sable qu'on y a répandu dans le but de faciliter le glissement des glaces.

Tous ces préparatifs étant faits, la cuvette, sou-

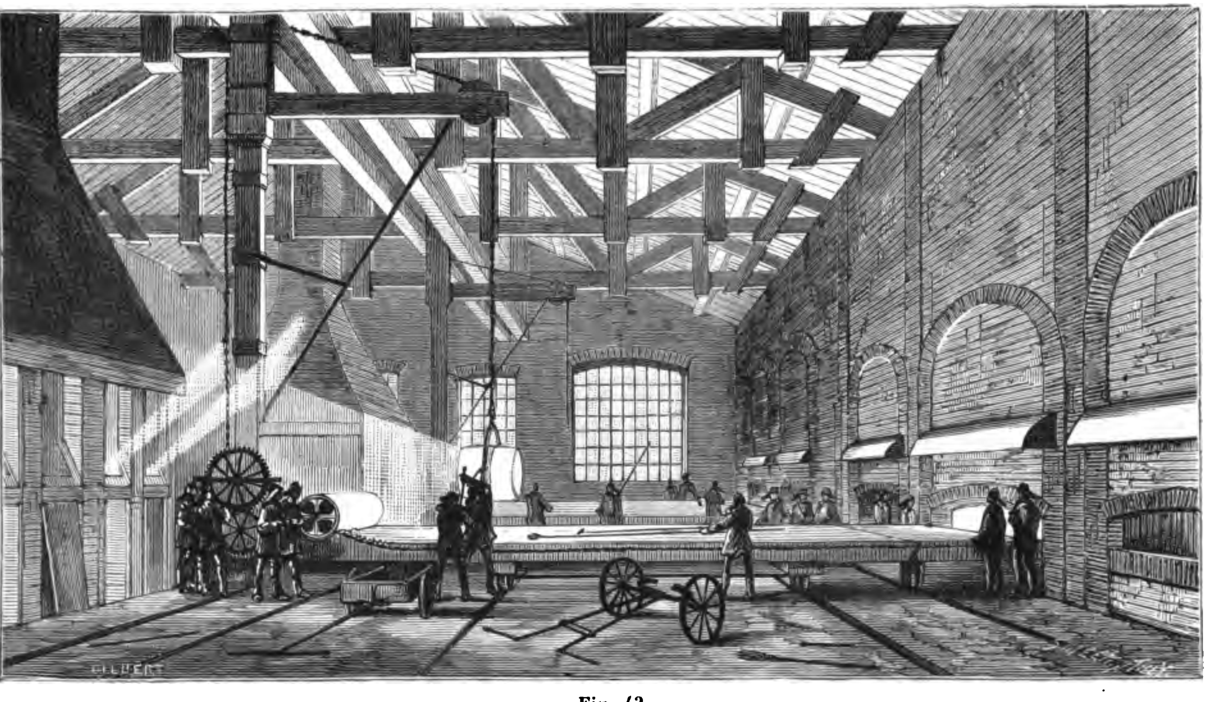


Fig. 43.

levée à un mètre environ au-dessus de la table, reçoit un mouvement de bascule qui renverse le verre le long du rouleau. La masse vitreuse s'écoule comme un flot de lave incandescente. On relève aussitôt la cuvette et on l'écarte en y laissant une certaine quantité de verre qui, ordinairement, est impur. Le rouleau est immédiatement mis en jeu; guidé sur les tringles, il parcourt la table d'une extrémité à l'autre en étendant uniformément le verre. Il vient tomber en contre-bas sur un chariot mobile disposé pour le recevoir à la fin de sa course.

Deux mains en cuivre, manœuvrées par deux ouvriers et placées près des tringles, suivent le mouvement du rouleau, maintiennent le verre et l'empêchent de déverser. Une glace qui présente des bavures est une glace perdue, qui casse infailliblement pendant qu'on la recuit dans la carcaise.

La glace, coulée et suffisamment défroidie, est, au moyen d'une large pelle en équerre, poussée encore rouge et à peine rigide dans la carcaise[1].

1. M. Augustin Cochin décrit cette opération dans les termes suivants :

« Quand on entre pour la première fois la nuit dans une des vastes salles de Saint-Gobain, les fours sont fermés et le bruit sourd d'un feu violent mais captif interrompt seul le silence. De temps en temps, un verrier ouvre le pigeonnier du four pour regarder dans la fournaise l'état du mélange : de longues flammes bleuâtres éclairent alors les murailles des *carcaises*, les charpentes noircies, les lourdes tables à laminer et les matelas sur lesquels des ouvriers demi-nus dorment tranquillement.

« Tout à coup l'heure sonne; on bat la générale sur les dalles de fonte qui entourent le four; le sifflet du chef de halle se fait

Pendant que ces opérations s'exécutent, des ouvriers ont ramené dans le four la cuvette vidée. On a préalablement projeté sur l'emplacement qu'elle doit y occuper du charbon menu, afin d'empêcher, dans les fontes suivantes, l'adhérence de la cuvette avec le siége, par suite du verre répandu qui peut s'y trouver. On a aussi jeté dans des baquets remplis d'eau froide tout le verre provenant de l'écrémage, des fonds des pots, etc.; on lave ce verre et on en fait un triage pour l'employer comme calcin dans les opérations suivantes.

Dans l'opération du coulage que nous venons de décrire (fig. 43), on a vu que le verre est versé sur le bout de la table le plus éloigné de la carcaise.

Ce mode de coulage, qu'on pratique dans la plu-

entendre et trente hommes vigoureux se lèvent. La manœuvre commence avec l'activité et la précision d'une manœuvre d'artillerie. Les fourneaux sont ouverts, les vases incandescents sont saisis, tirés, élevés en l'air, à l'aide de moyens mécaniques; ils marchent comme un globe de feu suspendu, le long de la charpente, s'arrêtent et descendent au-dessus de la vaste table de fonte placée avec son rouleau devant la gueule béante de la *carcaise*. Le signal donné, le vase s'incline brusquement, la belle liqueur d'opale, brillante, transparente et onctueuse, tombe, s'étend comme une cire ductile et, à un second signal, le rouleau passe sur le verre rouge; le *regardeur*, les yeux fixés sur la substance en feu, écrème d'une main agile et hardie les défauts apparents; puis le rouleau tombe ou s'enlève et vingt ouvriers munis de longues pelles poussent vivement la glace dans la *carcaise* où elle va se recuire et se refroidir lentement. On retourne, on recommence sans désordre, sans bruit, sans repos : la coulée dure une heure; les vases à peine replacés sont regarnis; les fours sont refermés, les ténèbres retombent et l'on n'entend plus que le bruit continu du feu qui prépare de nouveaux travaux. »

part des usines françaises, est plus rationnel que le *coulage en tête* qu'on pratique dans d'autres glaceries, dans lesquelles la cuvette est au-dessus du bout de la table le plus rapproché de la carcaise, le rouleau cheminant vers le grand axe de la halle en étalant le verre. De cette façon, la partie de la glace par laquelle on la pousse dans la carcaise, ayant été laminée la dernière, n'est pas suffisamment solide pour qu'il ne soit pas nécessaire d'y faire un épais bourrelet, une *tête*, sur laquelle on appuie pour enfourner la glace. Ce bourrelet entraîne une perte notable de temps et de matière et détermine souvent la rupture des glaces, à cause de la difficulté qu'on éprouve à bien recuire du verre aussi épais. En outre, par le coulage à l'opposé de la carcaise, on risque moins de déformer la glace et de la plisser en l'enfournant.

Enfin, pour compléter la description du coulage des glaces, j'ajouterai que, dans les usines françaises, trois chemins de fer parallèles servent à manœuvrer la table à couler, le chariot portant le rouleau et la grue. Aux deux extrémités de l'axe du rouleau sont attachées des chaînes qui viennent s'enrouler sur un tambour placé à la partie inférieure de son chariot. Le rouleau, arrivé à l'extrémité de sa course, remonte des tringles sur le chariot, qu'on pousse en avant. Il est remplacé par la plate-forme en tôle (fig. 41, G), montée sur roues, qui se trouve au même niveau que la table à couler et qui vient remplir le vide existant entre la table et la carcaise.

La grue, montée aussi sur un chariot à quatre

roues, peut se mouvoir rapidement sur son chemin de fer. Pour la maintenir dans la position verticale, elle glisse à sa partie supérieure entre deux entretoises ménagées dans la charpente de la halle.

Dans les établissementsqui font usage des fours du système Siemens ou du système Boétius, ces fours étant situés à l'une des extrémités de la halle, celle-ci a une largeur moins considérable; ce qui permet de supprimer la grue mobile et de la remplacer par un plancher qui se meut sur des travées régnant dans toute la longueur de la halle : cette plate-forme est munie de treuils pour enlever, avec des chaînes qui passent dans des ouvertures qui y sont ménagées, le creuset à vider sur la table de fonte et pour relever le rouleau au-dessous duquel la glace est poussée dans la carcaise. Avec ces dispositions, la table à couler, dont la longueur est de 6 à 7 mètres, poussée sur les rails, occupe à peu près toute la largeur de la halle; on y déverse le verre tantôt sur l'une de ses extrémités, tantôt sur l'autre, les glaces étant reçues par la carcaise la plus éloignée du bout de la table qui reçoit le verre fondu. Le coulage se fait de telle sorte que le creuset vidé sort du côté de la halle où se trouve le four de fusion.

La glace, étant coulée et enfournée, est rangée dans la carcaise; lorsque celle-ci est pleine, on en ferme immédiatement l'ouverture avec des plaques de tôle ou de larges briques cimentées avec de l'argile. Après un séjour de vingt-quatre à trente heures, on laisse rentrer un peu d'air, puis on hâte graduel-

lement le refroidissement jusqu'au troisième ou au quatrième jour pour les carcaises contenant 6 à 8 glaces.

Avant le *défournement* et souvent quand la carcaise est encore très-chaude, un ouvrier y pénètre pour visiter les glaces. Quand il aperçoit une fissure, il l'arrête avec un fer rouge qu'il applique au point où cette fissure se termine.

On défourne les glaces en les faisant glisser sur une grande table en bois qu'on met au niveau de l'ouverture de la carcaise. L'ouvrier équarrisseur coupe avec le diamant les bandes de la glace qu'on porte, suspendue verticalement sur des courroies, dans l'*Atelier d'équarri brut;* elle y est *visitée* et débitée d'après ses défauts et suivant les commandes qu'on a à exécuter. Sa dimension ordinaire est de 8 à 10 mètres superficiels. Elle passe ensuite à l'*atelier du douci.*

Glaces brutes coulées à la poche. — Ces glaces, plus minces que les glaces coulées, sont destinées à couvrir des serres et des bâtiments, à faire des cloisons légères, etc.

Au moyen d'une poche à long manche, manœuvrée par trois hommes, on prend dans un creuset 15 à 20 kilogrammes de verre qu'on verse sur une petite table en fonte et qu'on lamine en y faisant passer un rouleau. L'épaisseur, donnée par des réglettes comme pour les grandes glaces, est de 3 à 6 millimètres. La cannelure ou le quadrillage qu'elles présentent habituellement, vient du dessin

gravé en creux sur la table. Le recuit se fait en les plaçant de champ dans un four analogue aux anciens fours à recuire les vitres. Ces glaces se vendent de 3 à 6 francs le mètre ; d'après M. Bontemps, on en fait annuellement en Angleterre 300,000 mètres superficiels.

Travail mécanique des glaces. — Il a pour objet de faire disparaître d'abord les rugosités et les ondulations qui sont le résultat du passage du rouleau et du contact du verre avec la table à couler ; ensuite de donner à la glace une surface plane, une épaisseur égale ; enfin de lui rendre la transparence qu'elle a perdue par ces deux premières opérations.

Ce travail comporte :

1° *Le douci.* — La glace *brute* est d'abord *dégrossie* au moyen de lames de fonte avec interposition de gros sable, de sable fin, puis d'émeri de plusieurs grosseurs.

2° *Le savonnage.* — Les surfaces doucies sont frottées *verre sur verre* avec de l'émeri de quatre numéros.

3° *Le polissage.* — Les glaces savonnées sont frottées avec des feutres avec interposition d'oxyde de fer rouge ou colcotar.

Le douci. — Les glaces brutes sont scellées au plâtre sur une table fixe en pierre ou en fonte, ou bien sur une surface plane composée de plusieurs pierres maintenues par des madriérs en sapin serrés par des

boulons; on les *dégrossit* d'abord en les passant à *la ferrasse;* au moyen d'un long balancier en fer suspendu au plafond de l'atelier par des chaînes et animé d'un mouvement de translation circulaire, on fait mouvoir sur les glaces brutes plusieurs cadres en bois de chêne sous lesquels sont vissées des lames en fonte : sur la surface de ces glaces on projette du gros sable quartzeux qu'on arrose sans cesse avec un petit filet d'eau, de manière à éviter que le sable ne se mette en pâte entre les glaces et les ferrasses; ce sable est ensuite remplacé par du sable plus fin, puis par de l'émeri en poudre assez grossière (fig. 44).

Lorsqu'un côté est dégrossi et douci, on retourne la glace et, après l'avoir fixée avec du plâtre, on soumet l'autre face au même travail.

Depuis quelques années, cette opération a été rendue plus rapide; l'un des appareils perfectionnés dont on se sert actuellement en Allemagne et en Belgique consiste en une grande table en chêne, d'une superficie de 15 mètres, qui reçoit un mouvement rectiligne de va-et-vient, et en deux grands plateaux en fer ou en bois, sous lesquels sont vissées des lames en fonte; ces plateaux reçoivent un mouvement de translation circulaire au moyen d'un fort châssis en fonte; le travail est deux fois plus rapide qu'avec les anciens appareils.

Un autre système, d'origine anglaise, est maintenant mis en pratique en Belgique et en France, à Aniche et à Montluçon. Les glaces sont fixées au moyen du plâtre sur une table en fonte ou en fer.

Fig. 11.

de forme circulaire, d'un diamètre de 5 ou 6 mètres, qui reçoit un mouvement de rotation autour d'un pivot placé à son centre; elles supportent deux plateaux en chêne à 6 ou 8 pans, d'un poids considérable, avec lames de fonte vissées par-dessous; ces plateaux, qui sont entraînés dans le mouvement de rotation de la table, sont munis de contre-poids qui permettent à l'ouvrier de graduer à volonté la pesée qu'ils exercent sur les glaces. Le mouvement circulaire de la table a la même vitesse que celui des deux plateaux; au moyen de ce double mouvement, le douci, qui se fait toujours avec le sable et l'émeri, exige quatre fois moins de temps qu'avec l'appareil qui a été décrit le premier; les surfaces sont parfaitement planes et la casse est presque nulle. Ce système, qui a reçu diverses modifications, a notablement diminué le prix du douci.

Le savonnage. — Les surfaces doucies sont frottées avec de l'émeri de plusieurs grosseurs, en terminant ce travail par le numéro le plus fin. On sait que l'émeri est une substance très-dure, composée d'alumine cristallisée presque pure. Le meilleur vient de Naxos, l'une des îles de l'Archipel. On obtient cette matière plus ou moins fine en la mettant en suspension dans l'eau, après qu'elle a été pulvérisée et tamisée. L'émeri qui se dépose le premier donne la poudre la plus grossière; l'eau qui reste trouble pendant le temps le plus long fournit, par un repos suffisamment prolongé, l'émeri le plus fin.

Les glaces, après le doucissage, sont lavées,

dressées contre le mur de l'atelier et visitées de nouveau. On les classe d'après leurs défauts; une partie est renvoyée au douci ; une autre passe à l'*atelier du savonnage.*

Autrefois *le savonnage* se faisait partout à la main: contre une glace fixe, posée sur une table, quatre femmes font mouvoir une autre glace, en la poussant chacune par un angle; elles interposent entre les deux surfaces de l'émeri en pâte, délayé dans l'eau et de plus en plus fin. Cette opération a surtout pour objet d'enlever les piqûres, les aspérités qu'a laissées le sable. C'est un travail long et pénible; une femme ne fait dans une journée de onze heures que 1 mètre à 1^m,50 de glaces des deux côtés. Comme les défauts qu'il faut effacer sont inégalement répartis sur le verre, on comprend que pendant longtemps ce travail n'a pu être fait que manuellement.

Aujourd'hui on fait usage d'appareils qui imitent mécaniquement le mouvement du savonnage à la main; la glace repose sur une table en pierre recouverte d'une toile mouillée pour en empêcher le glissement; cette table est ordinairement fixe; elle a quelquefois un mouvement lent de va-et-vient; le mouvement de l'autre glace est donné par deux bras de levier agissant sur une caisse en bois qui pèse sur la glace mobile et qui l'entraîne, poussant et attirant successivement la caisse : comme l'un de ces bras est en retard sur l'autre, la glace se meut tantôt de droite à gauche et tantôt de gauche à droite.

Le polissage.—Les glaces sont nettoyées, visitées et classées une troisième fois; elles sont *mates, dépolies*. Celles qui sont dans de bonnes conditions

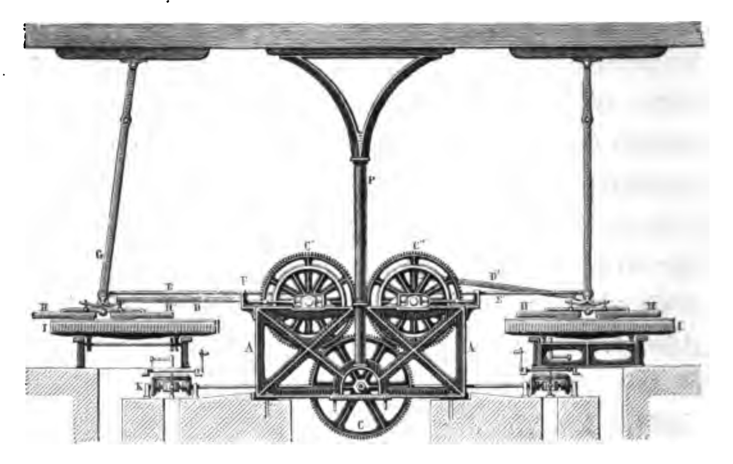


Fig. 45.

Légende d'une machine à polir les glaces, construite à Seraing (Belgique).

A, bâtis.
B, colonne.
C, roue d'engrenage motrice.
C' C'', roue de transmission du mouvement des polissoirs.
D D', bielles.
E E', guides des polissoirs.
FF, embrayages des roues C' et C'', servant à arrêter le mouvement de l'une des tables.
GG', balancier des polissoirs.
HH', polissoirs en bois.
II, tables de pierres supportées par un cadre en fonte et douées d'un mouvement perpendiculaire à celui des polissoirs.
J', galets en fonte sur lesquels glisse la table.
K, engrenages armés d'un manchon d'embrayage mis en mouvement par un levier manœuvré à la main et donnant le mouvement de translation à la table. L'engrenage reçoit le sien de la roue motrice C.

passent à l'*atelier du polissage;* elles en sortent terminées, c'est-à-dire transparentes et polies.

Ce résultat s'obtient en les frottant avec des feutres garnis de *colcotar*. Cette matière est du peroxyde de fer rouge, aussi pur, aussi ténu que

possible. On le prépare par le broyage, le tamisage et la décantation; on le met en petits pains comme le blanc d'Espagne.

On se sert, pour donner le poli, d'appareils mécaniques d'une construction compliquée et coûteuse. L'un de ces appareils est représenté par la figure ci-contre.

La glace est scellée (fig. 45) sur une table mobile I ayant un mouvement rectangulaire de va-et-vient, sur laquelle frottent des brosses HH' garnies de feutre, ayant un mouvement droit perpendiculaire au mouvement de la table. Le colcotar est employé à l'état de pâte humide.

Le scellement des glaces est une opération curieuse. On les range les unes à côté des autres dans un cadre, sur une grande glace dressée et mouillée; elles y restent fixées avec une adhérence telle qu'on peut, au moyen d'un treuil, les renverser, sans qu'elles se détachent, sur une table plane qui vient de recevoir un coulis de plâtre; un ouvrier monte alors sur la première glace qu'on nomme le *modèle*. La prise du plâtre a lieu bientôt, et le modèle peut être enlevé, dépouillé des glaces qui y adhéraient et qui restent solidement fixées par le plâtre.

Les brosses garnies de feutre et de colcotar sont alors mises en mouvement, ainsi que la table mobile sur laquelle les glaces sont scellées.

Il faut huit à dix heures pour polir d'un côté 5 à 6 mètres superficiels de glace.

L'appareil décrit ci-dessus est remplacé dans quelques glaceries par une machine ayant un mouve-

ment de translation circulaire : la table est en chêne et présente une superficie de 15 mètres : les polissoirs, au nombre de 18, font 80 révolutions par minute. Le travail est quatre fois plus rapide qu'avec les anciennes machines.

Prix de revient des glaces. — D'après les documents fournis en 1860 par M. Houtart-Cossée, directeur de Sainte-Marie d'Oignies, au Conseil supérieur du commerce, à l'occasion de l'enquête relative au traité de commerce avec l'Angleterre, la fabrication d'un mètre de glace exigeait alors :

Pour le brut (fonte et recuit). . .		180 kil. de houille.
Pour le douci.	77	195 —
Pour le poli.	118	
Total.		375 kil. de houille.

Un mètre de glace brut revenait en Belgique à 6 ou 7 fr. ; et à Recquignies, 8 fr. à 8 fr. 20 c. Il pèse, en moyenne, 25 kilogrammes.

Un mètre de glace polie, dont le poids est, en moyenne, de 17 kilogrammes, revenait à 17 fr. 54 c. en Belgique, pour le travail seulement, sans faire entrer dans ce prix l'intérêt du capital engagé, les frais généraux, l'amortissement, etc. En y comprenant ces éléments, le prix de revient en Belgique était de 27 à 28 fr. Le prix de vente, dans ce pays, était de 32 à 33 fr. le mètre superficiel.

En France, la cherté du combustible et des sels de soude (en raison surtout de l'impôt de 100 fr. par tonne sur le sel marin) augmentait notablement le

prix de revient, qui, abstraction faite des frais généraux, de l'intérêt du capital, etc., était de 21 fr. 41 c. à Saint-Gobain, et de 22 fr. 97 c. à Cirey, en appliquant à ces fabriques les données fournies par M. Houtart-Cossée, et en tenant compte du prix de la houille et des produits chimiques dans ces usines, tel qu'il a été indiqué dans l'enquête.

En Angleterre, le prix de revient des glaces était beaucoup plus bas qu'en Belgique; la houille, qui coûtait 22 fr. la tonne à Saint-Gobain et 13 fr. 25 c. en Belgique, ne revenait qu'à 6 ou 7 fr. aux glaceries anglaises. Le sulfate de soude brut valait 10 fr. la tonne en Angleterre, 13 fr. 50 c. en Belgique et 20 à 22 fr. en France.

Ces conditions ne sont plus absolument les mêmes aujourd'hui; l'emploi des fours Siemens a permis de réaliser une économie d'un tiers au moins sur le combustible employé pour la fonte du verre; des machines perfectionnées ont notablement abaissé la durée et le prix du travail mécanique. D'un autre côté, le prix de la houille a partout augmenté, bien qu'il ne se soit pas maintenu au taux élevé qui, en janvier 1873, a motivé la hausse subite et sans précédents de 30 °/₀ sur les prix de vente des glaces françaises; la main-d'œuvre est également plus élevée aujourd'hui. Néanmoins, comme ces changements ont eu lieu aussi bien en Angleterre et en Belgique qu'en France, il y a lieu de penser que les différences que présentent les prix de revient dans ces trois pays sont encore à peu près les mêmes.

Prix de vente des glaces. — « Tous les économistes, dit M. Augustin Cochin, savent combien il est difficile de comparer des prix à différentes époques. Non-seulement la valeur de l'argent n'est pas tout à fait la même à un ou deux siècles de distance, mais les éléments multiples dont se compose le prix d'un objet ne jouent pas de la même manière. »

La valeur du numéraire est, en effet, trop variable pour servir de terme de comparaison ; mais l'embarras des économistes serait encore bien plus grand, si, comme ils l'ont fait quelquefois pour estimer la valeur d'autres produits, au lieu du prix d'une mesure de blé, ils avaient pris comme terme de comparaison le prix d'un mètre de glace; car la valeur d'aucun produit fabriqué n'a présenté depuis deux cents ans des oscillations plus considérables.

Aux documents que nous avons donnés sur le prix très-élevé des glaces pendant le siècle dernier, nous ajouterons ceux qui suivent :

En consultant le tarif de Saint-Gobain de 1771, une glace de 1m,25 sur 1 mètre, valait 1,528 fr.; elle vaut aujourd'hui 65 fr. En 1845, 1 m. c., 1er choix, valait *net* 98 fr. 65 c.; actuellement 60 fr.

L'abaissement des prix est encore plus considérable pour les grands volumes; en 1845, si une glace de 20 mètres avait pu être fabriquée, elle eût valu, d'après le tarif alors en usage, 24,309 fr. En 1867, son prix était de 2,830 fr.

« Voici d'ailleurs un document qui met bien en lumière l'étonnante décroissance des prix depuis le commencement du XVIIIe siècle jusqu'à nos

jours; c'est un tableau publié il y a dix ans par M. Cochin, administrateur et historiographe de la compagnie de Saint-Gobain, tableau que l'obligeance de M. E. Leroy, directeur du principal établissement de la compagnie, nous a permis de compléter.

Prix des glaces de Saint-Gobain en entrepôts :

Années.	Glaces de 1 mèt. carr. 1m sur 1m.		Glaces de 2 mèt. carr. 2m,01 sur 1m.	Glaces de 3 mèt. carr. 2m sur 1m,51.	Glaces de 4 mèt. carr. 2m,97 sur 1m,35.
—	Fr.	c.	Francs.	Francs.	Francs.
1702. . . .	165	»	540	1,006	2,750
1758. . . .	161	50	529	1,009	2,750
1791. . . .	174	»	329	1,399	2,785
1798. . . .	193	»	810	1,594	3,437
1802. . . .	205	»	859	1,648	3,644
1805. . . .	226	»	945	1,813	4,008
1835. . . .	127	»	377	757	1,245
1856. . . .	61	»	143	248	349
1862-1872. .	47	75	107	186	262
1873-1875. .	60	»	140	240	340

« Le tarif de 1873 est, comme on le voit, supérieur de 30 % à celui de 1862. Cette augmentation s'explique par les charges résultant, pour la compagnie, de l'aggravation des impôts directs et indirects, de la cherté de la main-d'œuvre, du combustible, etc. » (M. de Foville, *l'Économiste français, 1875.*)

Dimensions, défauts et qualités des glaces. — Il n'est pas sans intérêt d'indiquer ici les dimensions des glaces que les différentes manufactures ont fait

figurer aux dernières expositions. Si ces dimensions ne sont pas celles que réclame habituellement le commerce, elles témoignent tout au moins de la puissance actuelle de cette industrie. Les grandes glaces ont d'ailleurs leur place marquée dans la décoration de nos édifices; le foyer de la danse du nouvel Opéra est orné d'une glace argentée de Saint-Gobain ayant 6m,49 de largeur sur 2m,95 de hauteur, soit 19m,30 de superficie; 6 autres glaces de 14 à 16 mètres décorent diverses parties de ce théâtre.

A l'Exposition universelle de Londres de 1851, la compagnie de la Tamise (*Thames plate-glass Company*) avait une glace de 5m,68 de hauteur sur 3m,04 de largeur, soit 17m,267 de superficie. Mais la qualité de cette glace laissait beaucoup à désirer; il eût été difficile de tirer de cet immense morceau de verre une glace vendable de quelque importance.

A Paris, à l'Exposition de 1855, on admirait une glace en blanc de Saint-Gobain, d'une qualité irréprochable, ayant 5m,37 de hauteur et 3m,36 de largeur, soit 18m,04 de superficie. Une glace de Cirey avait 18m,50 superficiels.

En 1867, Saint-Gobain avait à l'Exposition universelle de Paris deux glaces nues de 6m,09 sur 3m,53, soit 21m,50 de superficie, et une glace étamée de 5m,50 sur 3m,53, soit 19m,41. Cirey avait exposé une glace de 6m,53 sur 3m,23, soit 21m,10.

Autrefois, pour faire ces glaces, on coulait simultanément sur la table le contenu de deux grands pots, dont le verre se mariait de façon à éviter, autant que possible, la trace laissée par la réunion

des deux flots liquides et à ne pas emprisonner de bulles d'air, ni ce qu'on nomme, en termes techniques, des *crachats*. Aujourd'hui elles sont le produit d'un seul creuset; comme une glace de 21 mètres pèse environ 750 kilogrammes, elle exige la fonte et le maniement d'un pot d'une contenance de 900 kilogrammes au moins; on comprend les difficultés que présente cette opération; le polissage et le transport de ces grandes pièces augmentent encore les chances de casse et d'insuccès.

Pour estimer la valeur d'une glace, on observe certaines règles qu'il est utile de connaître. Les principales *qualités* qu'elle doit offrir sont : la planimétrie; l'égalité d'épaisseur; la finesse du poli; la blancheur; la pureté du verre. Les *défauts* les plus saillants sont le manque de planimétrie ou d'égalité d'épaisseur, qui produit, dans les glaces étamées, la déformation des objets réfléchis; les rayures, provenant du douci ou du poli; une coloration sensible, qu'elle soit verte, brune, jaune ou violette; le ressuyage, c'est-à-dire la faculté que possède le verre trop chargé d'alcali de se ternir en se couvrant d'efflorescences cristallines de carbonate de soude; les points, les stries, les larmes, les crachats, les ondes, les cordes, les fils, etc. Ces défauts proviennent d'un mauvais affinage du verre ou d'accidents pendant la fonte ou pendant la coulée. La plupart sont d'autant plus difficiles à éviter que les dimensions de la glace sont plus grandes.

C'est surtout en ayant égard à ces défauts que les glaces sont débitées en morceaux plus ou moins

volumineux, et que, d'après les tarifs en usage, le prix de vente du mètre superficiel augmente rapidement avec la dimension de la glace. Voici, comme exemple, le prix en France du mètre carré de la glace de troisième choix[1]. C'est, d'après M. Chevandier de Valdrôme, celle qui se vend le plus :

		Le mètre carré.
La glace de 50 décimètres carrés vaut. .		26f 95
—	1 mètre.	33 75
—	2 mètres.	39 20
—	3 mètres.	44 65
—	4 mètres.	47 35
—	5 mètres.	50 10

Il y a également des différences de prix considérables basées sur la qualité : ainsi une glace de 5 mètres, deuxième choix, vaut 58 fr. 40 c. le mètre superficiel; la même glace en premier choix se vend 66 fr. 75 c.

L'usage qui existe dans tous les pays qui produisent des glaces, d'augmenter considérablement le prix du mètre superficiel en raison de la dimension, a été vivement critiqué par plusieurs membres du Conseil supérieur du commerce. Il avait sa raison d'être autrefois, alors que les procédés de fabrication ne donnaient que des produits habituellement défectueux; mais aujourd'hui qu'on est obligé de couper les petites glaces dans des grandes qui sont le plus

1. *Enquête sur le traité de commerce avec l'Angleterre*, t. VI, p. 528; 1861.

souvent exemptes de défauts, il est difficile de comprendre pourquoi les grandes sont, pour une surface égale, beaucoup plus chères que les petites; à moins, toutefois, que le fabricant n'emploie cet expédient pour abaisser le prix de ces dernières, dont la vente est beaucoup plus importante. Ce serait alors une sorte d'impôt proportionnel prélevé sur le luxe au profit des consommateurs les plus nombreux.

Étamage et argenture des glaces. — Une partie des glaces est destinée à être employée comme miroirs. Une autre partie est vendue pour les vitrages de luxe à l'état de glaces *nues*.

La *mise au tain* ou l'*étamage* est d'origine très-ancienne; ce procédé a été jusque dans ces vingt-cinq dernières années le seul dont on faisait usage pour donner aux glaces la faculté de réfléchir les objets. Il est aujourd'hui remplacé par l'argenture, c'est-à-dire par la production d'une couche brillante d'argent à la surface du verre, au moins pour une grande partie des glaces; on a essayé aussi, mais sans grand succès jusqu'à présent, de se servir du platine pour le même objet. Nous décrirons d'une manière succincte l'*étamage*, l'*argenture*, le *platinage* des glaces, bien que ces opérations, exécutées dans des ateliers spéciaux, donnent lieu à des industries qui ne se rattachent qu'indirectement à la fabrication du verre.

Étamage. — Sur une table horizontale et bien propre, composée de pierres encastrées dans du bois,

on étend une feuille d'étain un peu plus grande que la glace à étamer, du poids de 7 à 800 grammes par mètre carré ; cette feuille est exactement appliquée sur la table ; au moyen d'une brosse, on en a fait disparaître tous les plis ; on y promène avec des rouleaux de lisière de drap une petite quantité de mercure de manière à *mouiller* l'étain ; une plus grande quantité de mercure, versé sur la feuille déjà amalgamée, forme une couche de quelques millimètres d'épaisseur qu'on maintient, au besoin, au moyen de règles placées à droite et à gauche de la feuille d'étain.

Sur trois côtés de la table se trouvent des rigoles qui doivent recevoir le mercure en excès ; l'un des petits côtés, devant l'étameur, est plan et libre ; il sert à introduire la glace qu'un autre ouvrier, pendant le temps nécessaire à ces opérations, a soigneusement nettoyée et séchée. Une bande de papier est placée sur la partie antérieure de la feuille d'étain amalgamée ; elle reçoit le bord de la glace qu'on a couchée à plat et qu'on pousse en avant, en la glissant de manière à ce qu'elle chasse devant elle l'excédant du mercure. Quand la glace a parcouru toute sa course, sans qu'aucune bulle d'air soit restée interposée entre le verre et le métal, l'ouvrier la fixe au moyen d'un poids portant à la fois sur la table et sur la glace ; il incline légèrement la table qui est mobile sur un axe, de manière à faire écouler une grande partie du mercure qui tombe dans la rigole et de là dans un vase placé au-dessous ; il la couvre ensuite d'une flanelle sur laquelle il répartit un

grand nombre de poids qu'il y laisse pendant vingt-quatre heures, en augmentant peu à peu l'inclinaison de la table. Au bout de ce temps, on la relève de dessus la pierre et on la place sur un égouttoir incliné qui est une sorte de pupitre en bois ; on finit par lui donner une position verticale jusqu'à ce que le *tain soit sec*. C'est alors seulement qu'on peut la fixer dans son parquet.

Pour les glaces de dimension moyenne, il faut quinze à vingt jours pour arriver à ce résultat; pour les grandes glaces, l'égouttage doit durer un mois; même après ce laps de temps, il arrive souvent que des glaces neuves, mises en place dans leurs parquets et dans leurs cadres, abandonnent encore peu à peu une certaine quantité de mercure. Aussi les glaces étamées sont d'un transport difficile ; elles se détériorent souvent dans les traversées un peu longues.

Lorsque la couleur du verre est bonne, l'éclat et la blancheur d'une glace étamée ne laissent rien à désirer; l'amalgame d'étain, qui renferme environ la moitié de son poids de mercure, se conserve fort longtemps sans altération, ainsi que cela est établi par une expérience plus que séculaire. Mais la mise au tain d'une glace est une opération dangereuse pour les ouvriers qui l'exécutent; le maniement journalier du mercure les expose à des affections graves, incurables, notamment à une sorte de tremblement dit mercuriel dont sont atteints également les doreurs au mercure, les fabricants de baromètres, les ouvriers qui exploitent les mines de mercure, etc.

tionné et exploité par MM. Brossette et Cie ; il est mis en pratique aujourd'hui dans les ateliers de la Compagnie de Saint-Gobain qui argente ainsi presque toutes les glaces qu'elle livre au commerce; un petit nombre de clients retardataires préfèrent encore l'étamage; mais leur nombre diminue chaque jour, et il y a lieu d'espérer que d'ici à quelques années, l'ancien procédé aura complétement disparu, au grand profit de la santé des ouvriers qui l'exécutaient.

L'argenture des glaces se pratique sur une grande table quadrangulaire, en feuilles de tôle rivées, à double fond et parfaitement plane. Cette table est remplie d'eau qu'on chauffe à volonté avec des serpentins qui reçoivent la vapeur fournie par une chaudière; la condensation de cette vapeur donne l'eau distillée dont l'emploi est commandé par toutes les opérations de l'établissement : la présence des chlorures dans les eaux ordinaires amènerait, en effet, une perturbation sensible dans la précipitation de l'argent qu'il s'agit d'avoir à l'état de métal entièrement pur. Ainsi la chaudière à vapeur fait l'office d'un appareil distillatoire, et la chaleur abandonnée dans la caisse métallique servant de réfrigérant, par la vapeur condensée, est utilisée pour élever de 35 à 40 degrés la température des glaces à argenter.

L'argenture comporte plusieurs opérations distinctes : 1° le nettoyage du verre; 2° la préparation des liqueurs; 3° le dépôt de l'argent à la surface des glaces; 4° l'application d'une peinture pour préserver l'argent déposé.

très-minimes quantités sous peine de tomber dans d'autres inconvénients, est bien loin d'être établie. Le plus sûr est assurément de renoncer à l'emploi du mercure; c'est le résultat qu'on obtient en substituant l'argent à l'amalgame d'étain. Aussi, de même que la dorure galvanique a été pour l'art du doreur un progrès considérable, de même l'argenture des glaces doit être accueillie comme un progrès non moins important au point de vue de l'hygiène professionnelle : l'argenture, qui est d'une parfaite innocuité, remplace aujourd'hui avec un plein succès le procédé fort dangereux de l'étamage.

Argenture des glaces. — On sait depuis longtemps qu'une dissolution d'argent mise en contact avec diverses substances organiques est décomposée, *réduite;* l'argent qu'elle renferme se précipite à l'état libre; ordinairement ce métal apparaît sous forme d'une poudre noire, par suite de son grand état de division; quelquefois il est doué de tout son brillant.

M. Liebig a observé le premier en 1835 que lorsqu'on chauffe de l'aldéhyde (produit de l'oxydation partielle de l'alcool) avec de l'azotate d'argent ammoniacal, le métal révivifié recouvre le verre dans lequel on fait cette expérience d'une couche métallique brillante. Cette observation de M. Liebig est l'origine des divers procédés d'argenture du verre. Pour les glaces et aussi pour les ballons en verre, le procédé dont on fait usage a été inventé par M. Petitjean, il y a environ vingt ans, perfec-

coton déjà mouillée par les liquides qui ont servi aux opérations précédentes. On y dépose les glaces, en les plaçant les unes à côté des autres, dans une position bien horizontale. Sur chacune d'elles on verse, avec des pots de faïence, la liqueur n° 1 qu'on vient de préparer; elle se répand sur la surface du verre et elle y forme une couche de deux à trois millimètres d'épaisseur, sans s'écouler au dehors, si la planimétrie de la surface est convenable. On emploie environ deux litres et demi de liqueur par mètre superficiel de glace.

La température de la glace étant portée peu à peu de 35 à 40°, on voit apparaître çà et là des particules d'argent précipité; ce sont d'abord comme des petites îles, irisées en raison de leur peu d'épaisseur; bientôt ces taches, devenues plus apparentes, se propagent, s'étendent et forment comme des isthmes, puis des continents, à contours déchiquetés, au sein du liquide qui les baigne; progressivement les parties du verre encore transparentes disparaissent; la couche de métal devient uniforme; au bout de vingt-cinq à trente minutes, la glace se trouve entièrement recouverte d'une couche mince et continue d'argent.

Elle est alors inclinée, lavée à l'eau distillée qui entraîne dans des rigoles latérales la liqueur en excès tenant en suspension de l'argent en poudre noire ou grise; puis, lorsqu'elle a repris la position horizontale, on verse à sa surface la liqueur n° 2. Un quart d'heure après, un second dépôt est venu renforcer le premier : l'argenture est terminée. La glace, lavée une dernière fois à l'eau distillée, est

transportée dans une chambre un peu chauffée, dans laquelle elle est mise de champ, jusqu'à ce qu'elle ait subi l'effet d'une dessiccation complète et spontanée.

Les liqueurs dont on a fait usage n'ont abandonné qu'une partie de l'argent qu'elles contenaient; la première fournit environ 4 grammes et la deuxième 3 grammes d'argent; soit 7 grammes par mètre superficiel, représentant une valeur de 1 fr. 50 environ de métal précieux; recueillies soigneusement, ainsi que les eaux de lavage, on en retire, par les procédés ordinaires, l'argent qu'on fait repasser à l'état d'azotate cristallisé. La couverture de coton, remplacée et brûlée tous les six mois, fournit 15 à 20 kilogrammes d'argent.

Peinture des glaces argentées. — La couche de métal, bien que fort brillante, est très-mince et très-altérable; le moindre effort suffit pour la détacher; exposée à l'air, elle noircit bientôt en se sulfurant, peut-être même en s'oxydant en raison de l'ozone que l'air peut renfermer d'une manière accidentelle. Il est nécessaire de la protéger contre ces causes de destruction au moyen d'un enduit convenablement choisi. Dans ce but, les glaces sont transportées dans un autre atelier: la pellicule d'argent est recouverte au pinceau d'un vernis alcoolique au copal, puis, quand ce vernis est sec, d'une couche de peinture au minium; celle-ci sèche en quelques heures.

Bien que ce mode de peinture n'ait pas encore

reçu, comme l'ancien étamage, la sanction d'une expérience bien longtemps prolongée, rien ne fait supposer que les glaces argentées s'altèrent plus que les autres, au moins celles qui sont placées dans l'intérieur de nos habitations. L'enduit préservateur dans lequel on employait exclusivement des vernis résineux a été d'abord l'écueil de l'argenture; son remplacement par une simple peinture à l'huile, dont la conservation est connue, a réalisé une amélioration considérable.

Les diverses manipulations que je viens de décrire sont tellement rapides qu'on peut, à la rigueur, retirer le soir de l'atelier les glaces qu'on y a apportées le matin. Nous avons vu qu'il fallait quinze à vingt jours au moins pour étamer une glace au mercure.

Les glaces argentées ont plus d'éclat que les glaces étamées. Dans l'origine, on leur reprochait de donner aux objets réfléchis une teinte jaunâtre, qui est, en effet, celle qui appartient à l'argent lorsqu'une pièce polie de ce métal est soumise à des réflexions multiples. On la corrigerait probablement en donnant au verre lui-même une très-légère coloration rosée; mais on s'est habitué peu à peu à cette teinte, et cette objection ne paraît plus exister aujourd'hui.

Procédé d'amalgamation des glaces argentées. — Bien que les procédés d'argenture qui viennent d'être décrits soient préférables, au double point de vue de l'hygiène et de l'économie, aux anciens procédés

d'étamage au mercure, les glaces argentées présentent encore certains défauts qu'on ne rencontre pas au même degré dans les glaces étamées; en dehors de leur teinte jaunâtre, elles laissent souvent à désirer sous le rapport de l'adhérence de la couche d'argent; cette couche se détache alors sur une étendue plus ou moins grande, surtout par l'exposition au soleil; les émanations sulfhydriques se font jour quelquefois à travers la peinture protectrice qui recouvre l'argent; ce métal devient noir par leur contact.

Ces défauts paraissent être corrigés par une manipulation simple et inoffensive, due à M. Lenoir, l'inventeur bien connu de la machine motrice à gaz.

La glace, après qu'elle a été argentée et lavée, est arrosée avec une solution étendue de cyanure de mercure et de potassium. L'argent déplace une partie du mercure et rentre partiellement en dissolution; le reste de l'argent donne naissance à un amalgame plus blanc et beaucoup plus adhérent que l'argent lui-même. Cette transformation est instantanée.

La glace, ainsi amalgamée, a perdu la teinte jaune de l'argent pur; elle donne des images beaucoup plus blanches et comparables à celles des anciens miroirs; elle devient moins attaquable par les vapeurs sulfurées et résiste à l'action du soleil; elle est, sous ce dernier rapport, supérieure aux miroirs étamés, dont le tain s'altère sous l'influence prolongée de la lumière. Ces résultats n'ont encore pour eux qu'une expérience de deux années; si l'avenir ne révèle pas

quelques inconvénients méconnus jusqu'ici, ils contribueront à faire adopter exclusivement le procédé d'argenture que cette dernière invention de M. Lenoir aura amélioré.

Argenture des ballons et des pièces creuses, en verre et en cristal. — Le procédé de M. Petitjean est aussi mis en pratique pour transformer en miroirs de toutes formes et de toutes dimensions, des globes, des gobelets, des coupes, des flambeaux, des statuettes de sainteté, etc. Ces pièces sont creuses ; après qu'elles ont été rincées à l'eau distillée, on les remplit à moitié avec la liqueur n° 2. On chauffe, au bain-marie, à 45° environ, en agitant le vase de manière à ce que le liquide argentifère soit en contact avec toute la surface intérieure de la pièce. Lorsque la couche de métal déposé est assez épaisse pour ne plus se laisser traverser par la lumière, on fait écouler la liqueur, on rince à l'eau distillée et on laisse bien sécher. L'orifice par lequel le liquide avait été introduit est ensuite fermé avec un bouchon qu'on recouvre avec une douille de laiton ou d'étain, de manière à éviter toute rentrée d'air. Pour les pièces creuses autres que les globes, telles que les gobelets, les coupes, les flambeaux, etc., cet orifice se trouve dissimulé dans le pied sur lequel elles posent. Les globes argentés de couleur bleue, rouge, jaune, etc., empruntent leur coloration au verre transparent qui a servi à les fabriquer. Tous ces objets, aussi variés de forme que d'usage, donnent lieu à un commerce d'exportation assez important.

La réduction de l'azotate d'argent ammoniacal par l'acide tartrique s'opère habituellement à une température qui varie entre 30 et 50°; elle se fait aussi à la température ordinaire; mais elle exige un temps plus long. C'est en opérant à froid qu'on a argenté, dans les ateliers de la compagnie de Saint-Gobain, les glaces de très-grande dimension qui décorent le vestibule et le foyer de la danse du nouvel Opéra de Paris. Il faut alors quatre à cinq heures pour obtenir le résultat qui se produit en quarante minutes dans les conditions que nous venons d'indiquer. Comme on évite ainsi toute chance de casse, ce procédé d'argenture à froid semblerait devoir être préféré; mais la présence inévitable des poussières qui existent dans l'air ne permet de l'employer que dans des circonstances exceptionnelles.

Argenture des verres d'optique par le sucre interverti. — Un illustre physicien, prématurément enlevé à la science, Léon Foucault, a construit des télescopes d'une grande puissance dans lesquels les objectifs achromatiques sont remplacés par des miroirs présentant une couche extérieure et brillante d'argent. Il employait un procédé d'argenture fondé sur la réduction de l'azotate de ce métal par une huile essentielle, l'essence de cassia. M. Ad. Martin, son collaborateur, a perfectionné ce procédé et l'a mis en œuvre pour divers instruments, notamment pour le grand miroir de 1^{m},20 de diamètre, en verre de Saint-Gobain, dont les courbures ont été déterminées par la méthode de Foucault. Ce miroir est celui

du grand télescope établi récemment à l'Observatoire de Paris, par les soins de M. Leverrier. L'auteur de ce mode d'argenture a consigné dans le journal *les Mondes* les modifications qu'il a fait subir au procédé qu'il avait décrit en 1868[1]. Comme l'exécution en est assez délicate, j'emprunterai à ce recueil la description qu'il en donne :

« On prépare quatre solutions qui, conservées isolément, ne subissent aucune altération :

« 1° Une solution de 40 grammes de nitrate d'argent cristallisé dans un litre d'eau distillée;

« 2° Une solution de 6 grammes de nitrate d'ammoniaque pur dans 100 grammes d'eau;

« 3° Une solution de 10 grammes de potasse caustique (bien exempte de carbonate et de chlorure) dans 100 grammes d'eau;

« 4° On fait dissoudre 25 grammes de sucre dans 250 grammes d'eau; on ajoute 3 grammes d'acide tartrique; on porte à l'ébullition que l'on maintient pendant dix minutes environ pour produire l'inversion du sucre et on laisse refroidir. On ajoute alors 50 centimètres cubes d'alcool, pour empêcher la fermentation de se produire plus tard, et on étend avec de l'eau pour former le volume de 1/2 litre, si l'argenture doit être faite en hiver, ou plus si l'opération doit être faite en été.

« Nous prendrons pour exemple l'argenture d'un

1. *Les Mondes*, par M. l'abbé Moigno, t. XXXIV, p. 285; juin 1875.

miroir de 10 centimètres de diamètre; on verse à la surface du verre, que l'on a épousseté à l'aide d'un pinceau en blaireau, quelques gouttes d'acide nitrique concentré, et, à l'aide d'un tampon de beau coton cardé, exempt de corps étrangers, on nettoie le verre avec soin, on le rince à l'eau et on l'essuie avec un linge fin bien propre. On fait tomber ensuite sur la même surface un mélange de volumes à peu près égaux de la solution de potasse (n° 3) et d'alcool, et l'on s'en sert pour nettoyer le verre avec une touffe de coton. Ce liquide, de consistance un peu sirupeuse, a la propriété de mouiller le verre sans se retirer sur les bords, comme le ferait un autre liquide. On plonge la face ainsi couverte du miroir dans un vase contenant de l'eau de pureté moyenne; on la frotte bien avec un blaireau pour faire dissoudre la couche alcaline, et on reverse la surface nettoyée sur une assiette dans laquelle on a mis de l'eau pure, en ayant soin qu'entre la surface et le fond de l'assiette il y ait au moins 1/2 centimètre d'épaisseur d'eau; on obtient ce résultat en soutenant le miroir avec trois petites cales de bois ou de baleine, et, par un léger balancement, on entraîne le liquide du lavage précédent.

« Dans un premier verre à pied de grandeur convenable, on verse :

« 15 centimètres cubes de la solution d'argent (liqueur n° 1);

« 15 centimètres cubes de nitrate d'ammoniaque (liqueur n° 2).

« Dans un second verre :

« 15 centimètres cubes de la solution de potasse (liqueur n° 3).

« 15 centimètres cubes de la liqueur de sucre interverti (liqueur n° 4), et on verse dans le premier verre.

« Ce mélange est introduit dans une petite assiette, et l'on y porte rapidement le miroir resté sur l'eau; on maintient ce dernier à 1/2 centimètre du fond, comme on l'a fait pour l'eau, et l'on agite doucement d'une manière continue.

« Si les liquides ont été bien préparés, la transparence du mélange n'est pas altérée lorsqu'on y verse le mélange de potasse et de sucre. Ce liquide définitif doit, au bout d'une demi-minute environ, se colorer en jaune rosé, jaune brun, puis noir d'encre. A ce moment l'argent commence à se déposer sur les bords de l'assiette avec une couleur de platine; le verre s'argente ensuite, suivant une couche bien régulière, sans marbrures prononcées; on continue à agiter de temps à autre, et lorsque le liquide, qui est devenu trouble et grisâtre, se couvre de plaques d'argent brillant, l'opération est terminée. On retire le miroir, on le lave avec soin sous un filet d'eau suffisamment abondant et, après avoir passé rapidement de l'eau distillée à la surface, on le laisse bien sécher sur la tranche en l'appuyant sur des doubles de papier buvard. La surface apparaît alors brillante et recouverte seulement d'un léger voile que l'on enlève très-facilement à l'aide d'un tampon de peau de chamois portant un peu de rouge fin d'Angleterre. *Mais si la potasse est bien décarbonatée et le nettoyage de la*

surface bien fait, l'argenture est parfaitement brillante et polie sous ce voile, et il n'y a pas lieu d'insister sur le frottement au tampon. »

Platinage des glaces. — On a essayé, il y a quelques années, de donner au verre la faculté de réfléchir les objets en le recouvrant d'une couche très-mince de platine. Ce procédé, inventé par M. Dodé, consiste à appliquer au pinceau une couche d'essence de lavande tenant en dissolution du chlorure de platine à cette liqueur, qui se prépare en broyant une partie de chlorure de platine sec avec 15 parties d'essence rectifiée, on ajoute, après repos et filtration, un fondant composé de parties égales de litharge et de borate de plomb broyés avec la même essence.

Après dessiccation spontanée de ce mélange sur le verre, celui-ci est chauffé dans des mouffles en fonte qui reçoivent les châssis mobiles dans lesquels les feuilles de verre sont placées verticalement; par la cuisson, le platine apparaît sous forme d'une couche brillante, tellement mince que, par transparence, elle laisse traverser la lumière. Le verre peut n'être dressé que d'un côté. Cette couche est solide et adhérente.

Malgré ces avantages, le verre platiné n'a pas été adopté par le commerce, à cause de la teinte sombre qu'il donne aux objets réfléchis.

Dorure du verre. — On recouvre depuis quelque temps des glaces d'une couche très-mince d'or brillant ou mat. Ces glaces, qui sont encore peu répan-

dues, paraissent convenir surtout pour faire des encadrements de luxe. Le procédé pour les produire doit être analogue à celui dont on fait usage pour l'argenture. M. Schwarzenbach, de Berne, a fait breveter en Angleterre le procédé suivant : On dissout dans de l'eau bouillante du chlorure d'or bien pur; la liqueur, après qu'elle a été filtrée, est étendue d'eau de telle sorte que 1,000 c. c. contiennent $0^{gr},300$ d'or métallique; on la rend alcaline en y ajoutant une quantité suffisante d'une dissolution de carbonate de soude. D'autre part, on a préparé une dissolution saturée de gaz des marais dans l'alcool; celle-ci est étendue de son volume d'eau; 25 c. c. de cette liqueur sont ajoutés à 200 c. c. de la dissolution alcaline d'or, et le mélange est versé entre la surface de la glace à dorer (bien nettoyée d'avance) et une feuille de verre placée au-dessous, à une distance de 3 millimètres. Après deux à trois heures de contact, la dorure est terminée; on lave le verre et on le sèche.

CHAPITRE SIXIÈME.

Bouteilles.

Historique. — Les états de service du verre à bouteille ne sont pas aussi brillants que ceux de quelques autres produits de l'industrie verrière. La bouteille, malgré la popularité de son nom, était peu connue des anciens qui conservaient leurs vins dans des outres en peau. Cette coutume existe encore dans quelques pays. Ce n'est guère qu'à partir du xve siècle que son usage est devenu général. Il existe pourtant dans le département de l'Aisne, à Quicangrogne, près de La Capelle, une verrerie à bouteilles dont la fondation remonte à l'année 1290 et qui conserve précieusement dans ses archives les brevets qui lui ont été octroyés par Charles de Bourgogne, Francois Ier, Charles IX, Henri III, Henri IV, etc. C'est une des plus anciennes verreries de France.

En raison de notre grande production vinicole, la fabrication des bouteilles a acquis chez nous une importance exceptionnelle. On produit annuellement

en France [illegible] millions de bouteilles qui représentent une valeur de [illegible] millions de francs [illegible] de cette quantité est exportée. [illegible] consomme en moyenne [illegible] millions de bouteilles par an. [illegible] exportation [illegible] millions [illegible] grammes environ. Le vase nécessairement [illegible]

[illegible]

Les bouteilles pour le vin de Champagne, dont la abrication exige plus de soins et plus de combustible, e vendent de 24 à 29 francs, selon le choix.

Matières premières et composition. — Les matières remières qu'on emploie sont de nature très-diverse, elon les localités. On se sert, autant que possible, le celles qu'on a sous la main, afin de réduire les rais de transport. On emploie les sables du pays, n donnant la préférence à ceux qui, étant cal- aires, argileux, ferrugineux, apportent avec eux ne partie des fondants nécessaires à la production conomique du verre. A Rive-de-Gier et à Givors, lans les usines dirigées par M. Ch. Raabe, lesquelles ontiennent 22 fours pour la fabrication des bou- eilles, la composition qu'on employait il y a quelques nnées était la suivante :

Sable du Rhône.	100
Chaux éteinte.	24
Sulfate de soude	8

Le sable du Rhône est ferrugineux et contient 20 pour 100 de calcaire.

Dans la verrerie de M. de Violaine, à Vauxrot, rès Soissons, où l'on produit, avec quatre fours, millions de bouteilles champenoises, les matières remières mises en œuvre sont les sables calcaires lu pays, les cendres neuves, les cendres lessivées lu pays qu'on nomme *charrées*, la craie de Champagne, les soudes de Varech, le sel de soude, le sulfate de soude, la soude factice.

En Belgique, dans la province de Charleroi. M. Houtart Roullier fait usage du mélange suivant : 100 parties de composition renferment :

Sable du pays.	10
Cendres de tourbe (de la Hollande). . .	20
Sulfate de soude	15
Calcaire	5
Groisil ou tessons de bouteilles.	50

Voici une autre composition :

Sable argileux	300
Sulfate de soude	30
Verre cassé	80
Écailles d'huîtres.	20

Le sulfate de soude dont on fait usage contient habituellement une grande quantité de sel marin ; ce dernier, dont la proportion s'élève parfois jusqu'à 50 pour 100 du poids du sulfate, facilite la fonte et l'affinage du verre et permet d'économiser le combustible. Il est possible aussi qu'une partie du chlorure de sodium joue un rôle utile comme fondant, par suite de sa transformation en silicate de soude, en présence du sable et de l'eau que renferment les matières employées.

D'après ces mélanges, la composition du verre à bouteilles est nécessairement très-variable ; les fondants ordinaires, la soude et la potasse, s'y trouvent en grande partie remplacés par des fondants multiplés d'un prix moins élevé, c'est-à-dire par la chaux, la magnésie, l'alumine, l'oxyde de fer, etc.

Voici les analyses de trois échantillons de verre à bouteilles de bonne qualité : les deux premières sont de M. Berthier, la troisième de M. Maumené :

	1.	2.		3.
Silice	60,2	59,6		58,4
Chaux	20,7	18,0		18,6
Baryte	0,9	»		»
Soude et potasse	3,2	3,2	Potasse.	1,8
Magnésie	0,6	7,0	Soude. .	9,9
Alumine	10,6	6,8		2,1
Oxyde de fer	3,8	4,4		8,9
Oxyde de manganèse	»	0,4		»
	100,0	99,4		99,7

1. Verre de Saint-Étienne (Loire).
2. Verre d'Épinac, près Autun (Saône-et-Loire).
3. Bouteille à champagne de très-bonne qualité, dont la résistance à la pression avait été constatée.

J'ai donné précédemment (p. 61) la composition d'une bouteille champenoise très-attaquable par les acides, à cause de la proportion de bases trop considérable qu'elle renferme. On trouve aussi (p. 43) la composition actuelle des bouteilles de Blanzy; celles-ci ne contiennent qu'une très-petite proportion d'alcali.

Il est important de produire des bouteilles bien recuites et bien régulières de forme et d'épaisseur; ces conditions sont indispensables pour celles qui sont destinées à contenir les vins mousseux ; autrement la casse, surtout pendant les premiers temps de la fermentation, devient très-considérable. Elle est, en moyenne, dans les caves de Reims et d'Épernay de 10 pour 100 ; mais elle s'est élevée

dans certaines années et avec certaines bouteilles à 50 pour 100 et au delà. On a construit diverses machines d'épreuve pour mesurer la résistance des bouteilles. Dans la verrerie de M. Labarbe, à Follembray (Aisne), dont les produits sont fort estimés, on se sert, pour l'essai d'un certain nombre de bouteilles prises au hasard dans chaque fournée, d'une machine construite par Collardeau; les bonnes bouteilles résistent à une pression de 25 à 35 atmosphères.

D'après M. Maumené, ancien professeur à Reims, auteur d'un important ouvrage sur le travail des vins mousseux, les conditions générales à remplir pour les bouteilles à champagne sont, en dehors de celles qui tiennent à la qualité du verre : le poids; il doit être compris entre 850 et 900 grammes; l'épaisseur qui doit être uniforme ; la couleur; elle doit être claire sans être bleue ni irisée ; la pureté du verre qui doit être surtout exempt de *pierres* qui sont presque toujours l'indice de petites fentes ; en outre l'embouchure doit être convenablement conique pour bien retenir le bouchon et assurer la conservation du vin.

Fabrication. — La fusion des matières premières se fait dans des fours analogues à ceux qui servent pour le verre à vitre. A Rive-de-Gier, on emploie des fours rectangulaires dont la chaleur perdue se dégage, de chaque côté du four, dans des arches qui reçoivent la composition qui est frittée pendant vingt-huit heures. On n'ajoute pas de charbon pour

décomposer le sulfate de soude, ainsi qu'on le fait pour le verre à vitre ou à gobeleterie commune; il est probable que l'oxyde de carbone et les gaz hydrogénés qui se trouvent dans les produits de la combustion facilitent cette décomposition. Cette fritte des matières premières est coûteuse; elle paraît être

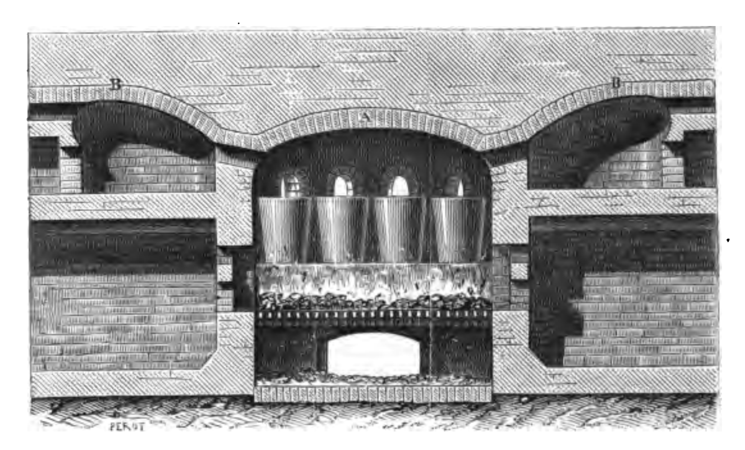


Fig. 46. — Four à bouteilles.

surtout utile pour donner aux bouteilles une coloration régulière et de même teinte.

Les creusets sont ronds, ovales ou rectangulaires; ils reçoivent chacun 600 à 1,000 kilogrammes de matière frittée dont le rendement est de 80 pour 100 de verre fondu et de 60 pour 100 environ de verre utilisé. Ainsi 1,000 kilogrammes de composition, donnant 800 kil. de verre fondu, fournissent 600 bouteilles fortes de 1 kilogramme ou 750 de 800 grammes. On produit donc 6,000 bouteilles fortes par jour et, pour un four à 8 pots et à dix places, 180,000

... consomme ...

... 5 tonnes ...

... c'est-à-dire pour ... tonnes par

... pendant ...

... kilogrammes ... consommation

... 137 pour ... 75

... les champenoises ... consomme

... houille. La ...

... 14 heures, en y comprenant

... fait par heure ...

... bouteilles champenoises.

... four à recuire dans le

... aussitôt qu'elles sont

... servi par dix places.

... celle du milieu

... droite et à gauche:

... pour la confection

... ouvriers : le

... Il y a en

... porteur,

... porte

... heures,

... le

... travail ... que

... mieux ...

... alternative ...

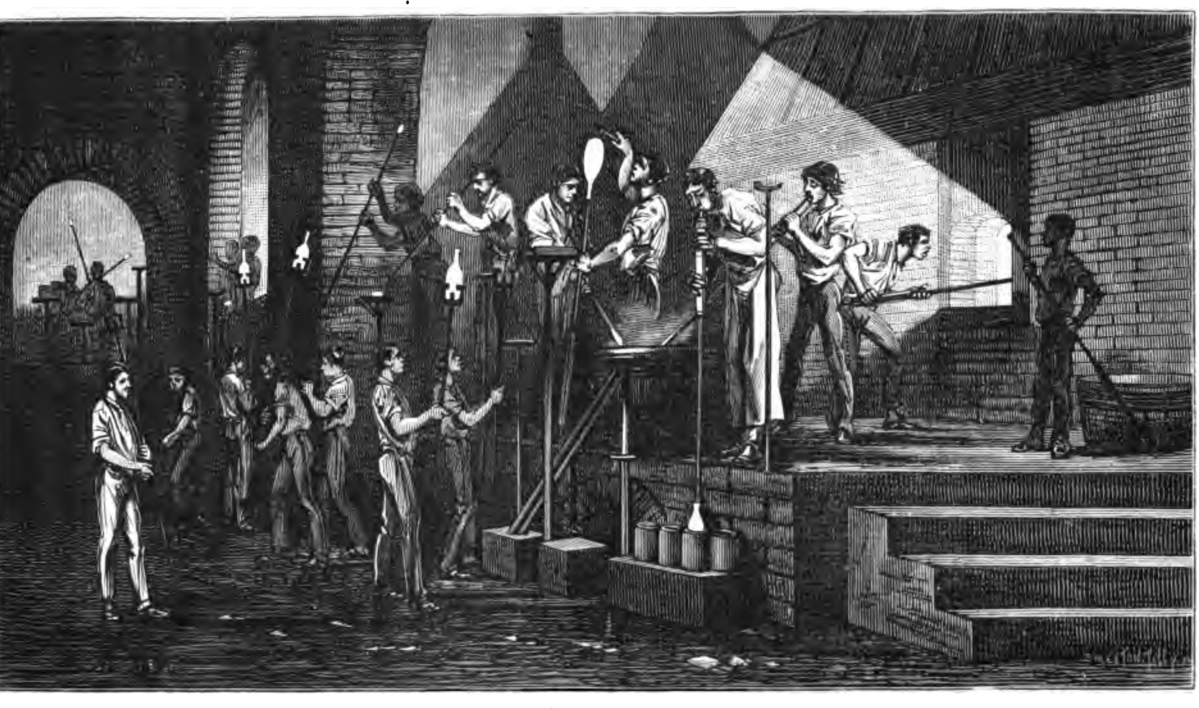


Fig. 47. — Fabrication des bouteilles.

par mois. On consomme pour la fonte et les fours à recuire 2 tonnes de houille et 3 tonnes pour faire *la braise*, c'est-à-dire pour maintenir le four à la température voulue pendant le travail. On dépense, par conséquent, 183 kilogrammes de houille pour 100 bouteilles fortes ou 137 pour celles de 750 grammes. Pour 100 bouteilles champenoises, on consomme 200 kilogrammes de houille. La fonte dure 12 à 13 heures; le travail 14 heures, en y comprenant deux heures de repos. On fait par heure 75 à 80 bouteilles ordinaires ou 50 bouteilles champenoises.

Pour deux pots, il y a un four à recuire dans lequel les bouteilles sont portées aussitôt qu'elles sont façonnées.

Le four à huit creusets est desservi par dix places, soit cinq places de chaque côté; celle du milieu prend son verre alternativement à droite et à gauche; elle a devant elle un petit ouvreau pour la confection du goulot.

Chaque place se compose de trois ouvriers : *le maître ouvrier, le grand garçon* et *le gamin*. Il y a en outre, pour plusieurs places, un enfant, *le porteur*, qui enlève les bouteilles fabriquées et qui les porte au four à recuire.

Les huit potées sont vidées en neuf à onze heures, sans que le travail soit interrompu; cette sorte de verre se dévitrifie avec une extrême facilité et il n'est pas rare, en dépit de la célérité du travail, que les fonds de pots donnent du verre galeux. Afin que chaque place ait à son tour le repos qui lui est nécessaire, une équipe volante la relève alternative-

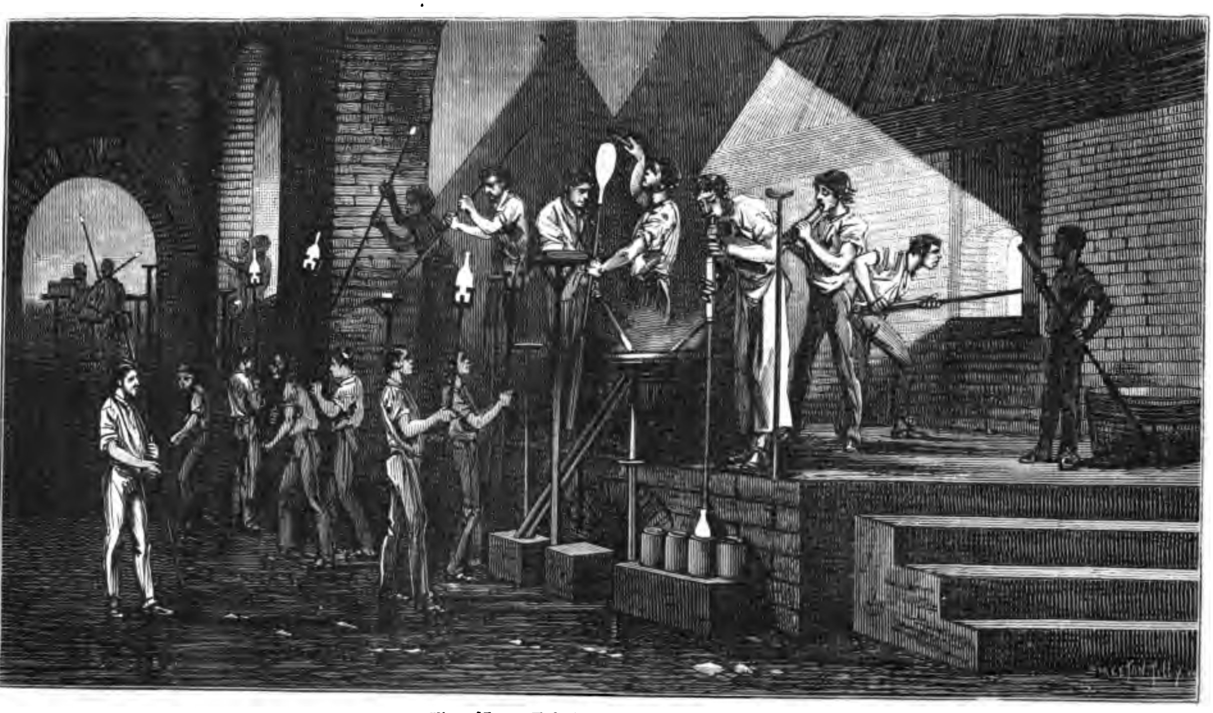


Fig. 47. — Fabrication des bouteilles.

ment, et procède, pendant ce temps, à la confection d'un certain nombre de bouteilles.

La place étant nettoyée et les outils mis en ordre sous la main du maître ouvrier, le gamin cueille avec une canne préalablement chauffée à l'ouvreau une certaine quantité de verre : il tient la canne horizontalement en la tournant sur elle-même pour refroidir un peu le verre; puis, après avoir fait un second cueillage dans les mêmes conditions, il la passe au grand garçon. Celui-ci achève de garnir la canne de la quantité de verre nécessaire à la confection de la bouteille; il commence à faire *sa poste,* c'est-à-dire à rouler la canne sur une plaque de fonte (marbre) légèrement inclinée, posée sur un support à l'extrémité de la place; le verre étant ainsi marbré et en même temps un peu étiré, il commence à souffler, tout en continuant à promener la paraison sur la plaque de fonte; puis il lui donne une position verticale, ne l'appuyant plus sur le marbre que par la partie inférieure; il la soulève de manière à laisser couler le verre qui forme le col de la bouteille. Il porte alors à l'ouvreau la paraison ainsi terminée, en posant la canne sur un crochet pour la réchauffer, tout en lui imprimant un mouvement lent de rotation de manière à maintenir le verre, qui se ramollit, avec la forme qu'il vient de lui donner ; il remet alors la canne au maître ouvrier qui termine la bouteille.

Celui-ci souffle à petits coups, en appuyant sur un autre marbre posé à terre devant lui l'extrémité de

la bouteille; il en prépare ainsi le fond et il donne à la pièce la dimension qu'elle doit avoir pour entrer dans le moule qui est en argile réfractaire, quelquefois en fer ou en laiton; il la pousse contre le fond de ce moule et il souffle en tournant la canne de manière à ce que le verre en remplisse bien toute la capacité; puis il la retire du moule et il la retourne de bas en haut, et, la tenant de la main gauche dans cette position verticale, il comprime le fond plat de la bouteille avec un crochet en fer; la bouteille étant roulée de nouveau sur le marbre pour reprendre la forme régulière qu'elle a pu perdre par la confection du fond, il en *tranche* le col par le contact d'un fer mouillé, la bouteille étant placée sur un calibre qui donne la longueur qu'elle doit avoir; puis il la détache sur une pièce en terre formée de deux plans inclinés; la bouteille est retournée bout à bout et *empontillée* avec le verre qui adhère encore à la canne, c'est-à-dire fixée à la canne par la partie centrale et creuse de son fond.

La bouteille est reportée à l'ouvreau pour réchauffer le col à l'extrémité duquel on fait tomber au moyen d'une *cordeline* (tige de fer pleine) la quantité de verre nécessaire pour former *la bague;* le col étant suffisamment réchauffé, l'ouvrier, assis sur son banc, roule de la main gauche la canne sur les bardelles de ce banc, pendant que de l'autre main et avec ses fers il aplatit le col et arrondit intérieurement le goulot.

La bouteille est terminée; la canne à laquelle

elle est fixée passe entre les mains du gamin qui la porte au four à recuisson. Au moyen d'un léger choc sur le milieu de la canne, il la détache à l'entrée du four et la laisse entre les mains de l'ouvrier qui est chargé de l'y ranger.

Ce mode de fabrication, qui donne des bouteilles avec des fonds en verre arrachés et coupants, est aujourd'hui modifié dans la plupart des verreries. On a remplacé l'empontillage avec le verre qui reste à l'extrémité de la canne par un sabot en fer dans lequel on encastre la bouteille, alors que, détachée de la canne, elle repose sur la plate-forme en terre sur laquelle se trouve le calibre selon lequel le verre a été tranché. Le diamètre du sabot est réglé sur celui du moule; il varie par conséquent avec la dimension des bouteilles (fig. 48).



Fig. 48.

Un autre perfectionnement, qui est surtout important pour les bouteilles champenoises dont le goulot doit être parfaitement dressé, consiste à former le col et la bague avec une pince représentée (fig. 49, voir p. 303).

Au moyen de cet outil, l'ouvrier écrase et pare le verre en le comprimant avec l'extrémité A B qui donne le profil de la bague; en même temps la partie pleine C, légèrement conique, donne au goulot une forme régulière et invariable.

La bouteille étant terminée on la détache de la

canne ; elle est reçue par le porteur sur une fourche en fer et portée au four à recuire. Celui-ci a un foyer au centre ; de chaque côté viennent se ranger les bouteilles, qu'on empile ensuite les unes sur les autres jusqu'à ce que le four soit plein. On laisse tomber le feu, on bouche les ouvertures et au bout de quarante-huit heures on en retire les bouteilles recuites.

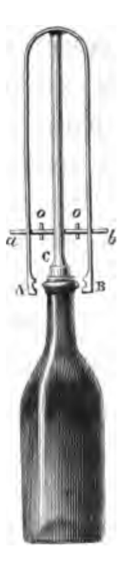


Fig. 49

D'autres fours à recuire sont à feu continu. Ils se composent d'une longue galerie, chauffée vers le milieu par un foyer et terminée par des portes à ses deux extrémités. Le four est traversé par une chaîne en fer sans fin, à laquelle sont accrochés des chariots sur lesquels on dépose les objets à recuire. Ils entrent par un bout et sortent par l'autre convenablement recuits et refroidis.

Ce même four est en usage pour recuire les objets de gobeleterie en verre ou en cristal.

Certaines bouteilles portent un cachet indiquant la marque du débitant ou bien la nature du liquide qu'elles doivent renfermer. Ce cachet est produit en laissant tomber sur la bouteille un peu de verre qu'on comprime avec une pièce gravée en fer ou en cuivre, comme on le ferait pour cacheter une lettre avec de la cire.

On se plaint souvent de l'inégale capacité des bouteilles. On comprend qu'en dehors de l'intervention de certains négociants, notamment des res-

taurateurs, qui imposent au verrier l'obligation de leur faire des bouteilles de plus en plus petites, il est difficile d'arriver, autrement que par le jaugeage, à livrer des vases d'une capacité uniforme, en suivant les procédés ordinaires de fabrication. On y parvient sûrement en se servant de moules métalliques. Un mécanicien habile, M. Carillon, auquel est dû l'outillage mécanique de la glacerie de Montluçon, a introduit dans quelques verreries le moule en fer à charnières représenté ci-dessous.

Ce moule est destiné à faire des bouteilles bordelaises, à fond plat, d'une capacité de 70 centilitres et du poids de 750 grammes.

Le moule étant préalablement échauffé et maintenu fermé, on commence la paraison; le verre

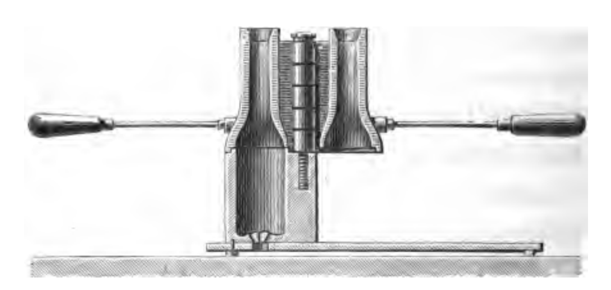


Fig. 50.

dont on a garni la canne, est marbré sur la plaque de fonte, cueilli de nouveau, puis soufflé dans un moule en bois de hêtre mouillé; l'ouvrier souffle légèrement, réchauffe sa pièce à l'ouvreau, puis la laisse pendre un instant pour former le goulot. A ce moment, le gamin ouvre le moule qui reçoit la

paraison ; il le ferme et l'ouvrier souffle d'abord avec la bouche et immédiatement après avec le *piston* (pompe de Robinet).

La bouteille est passée au chef de place, qui la met sur un calibre pour en fixer la longueur ; il la détache de la canne en rognant le goulot d'après cette mesure, la prend par le corps avec un *sabot*, instrument qui, comme nous l'avons vu, remplace le pontil, la met à l'ouvreau pour arrondir le goulot et en fait la bague avec du verre qu'un gamin lui apporte au bout d'un pontil. La bouteille, ainsi terminée, est portée au four à recuire.

Le fond du moule est percé de très-petits trous destinés à la sortie de l'air ; sans ces trous, le verre n'épouserait pas exactement tous les contours du moule.

Ce mode de fabrication est évidemment plus lent et plus coûteux que celui qu'on suit habituellement ; mais il fournit des vases exactement calibrés.

La couleur des bouteilles qu'on fabrique en France est d'un vert plus ou moins foncé ; elle est produite par le silicate de protoxyde de fer. Celles qu'on fait en Angleterre pour les bières fortes sont presque noires ; en Allemagne, pour les vins du Rhin, par exemple, les bouteilles sont d'un jaune brun ; cette couleur est due à l'addition de l'oxyde de manganèse. La coloration des bouteilles, due à l'origine à l'imperfection des procédés de fabrication, n'a aucune raison d'être aujourd'hui, à moins qu'elle ne serve à masquer la mauvaise qualité du vin. Il serait à désirer que l'usage de vases incolores ou peu colorés s'in-

troduisît dans les habitudes du commerce, surtout pour ceux qui sont destinés à contenir des boissons.

Fabrication des bombonnes ou dames-jeannes. — Ces vases, qu'on désigne aussi sous le nom de *touries*, et qui sont le plus souvent d'une contenance de 18 à 20 litres, servent au transport des acides et des spiritueux; ils sont clissés ou assujettis avec de la paille dans des paniers en osier. Le clissage se fait dans les verreries mêmes, qui sont le plus souvent des verreries à bouteilles.

Le travail est le même, avec cette différence toutefois que les dames-jeannes ne sont pas *empontillées;* lorsqu'elles ont été soufflées et amenées à la dimension et à la forme voulues, le gamin applique sur le col la quantité de verre nécessaire pour faire le cordon, et, après que celui-ci a été façonné par l'ouvrier, le col est *tranché* un peu au-dessus de la *bague* et la pièce est portée au four à recuire; ce bord, n'ayant pas été rebrûlé, est inégal et coupant; on l'égalise à la lime après que la pièce a été recuite.

Pour les dames-jeannes de dimensions exceptionnelles, ayant 50 litres et plus de capacité, le souffleur prend dans sa bouche un peu d'eau ou d'eau-de-vie qu'il projette avec sa canne dans le verre lorsqu'il est déjà arrivé à une certaine dimension; le liquide, en se vaporisant, augmente considérablement le volume de la pièce, si bien qu'elle éclate parfois, lorsque l'effet qu'on cherche à produire se trouve dépassé.

CHAPITRE SEPTIÈME

Verrerie de luxe et verrerie commune

Gobeleterie en verre et en cristal.

Historique. — Tout le monde connaît le récit de Pline sur l'origine du verre : des marchands phéniciens étant descendus à terre, près de l'embouchure du fleuve Bélus, tirèrent de leur navire des blocs de natron pour supporter le vase qui devait servir à cuire leurs aliments; l'action du feu ayant fondu ces blocs avec le sable sur lequel ils étaient posés, il en résulta un liquide transparent qui était du verre[1].

Nous n'avons pas à nous attarder longtemps sur cette histoire; Pline lui-même ne la donne que comme un on-dit: *fama est...* Strabon, qui écrivait un

1. Voici le texte latin (livre XXXVI, § 65):

Fama est, appulsâ nave mercatorum nitri, cum sparsi per littus epulas parerent, nec esset cortinis attolendis lapidum occasio, glebas nitri è nave subdidisse, quibus accensis permixtâ arenâ littoris, translucentes novi liquoris fluxisse rivos, et hanc fuisse originem vitri.

siècle avant Pline, n'en fait aucune mention, bien qu'il signale les sables du fleuve Bélus comme propres à la fabrication du verre. Ainsi que le fait observer M. Dumas dans l'article si remarquable qu'il consacre au verre dans son *Traité de chimie*, « quand on connaît la température nécessaire à la préparation du verre le plus fusible et qu'on a vu seulement l'intérieur d'un four de verrerie en activité, on conçoit combien ce récit est invraisemblable ».

Il me sera permis de faire une autre remarque : le texte de Pline peut donner lieu à des interprétations fort différentes, en raison du sens qu'il convient d'attribuer au mot *nitrum*.

Est-ce du *nitre*, c'est-à-dire du salpêtre, de l'azotate de potasse que vendaient ces marchands, ou bien est-ce du *natron*, c'est-à-dire de la soude, du carbonate de soude hydraté[1] ? Le lieu de la scène rend cette dernière hypothèse assez vraisemblable. Mais, d'un autre côté, on comprend mieux la fusion de blocs de nitre sous l'influence d'une température peu élevée (fusion donnant un liquide, *le cristal minéral*, qui n'est pas du verre, mais simplement du nitre fondu), que la vitrification du sable par la soude en plein air, dans les conditions indiquées

1. Le dictionnaire de la langue française de M. Littré, si précieux pour résoudre des difficultés de ce genre, est peu explicite sur ce sujet :

NITRE... ÉTYM. provenç. *nitre;* espag. et ital. *nitro;* du latin *nitrum;* grec νίτρον, qui vient de l'hébreu *noter,* nitre, natron, du verbe *netar,* faire effervescence.

par l'historien latin. Aucun traducteur, il est vrai, n'hésite à traduire *nitrum* par nitre. Mais les verriers et les chimistes admettront plus volontiers que ce mot signifie soude, d'autant mieux que celui de *natrum*, la soude, que connaissaient les anciens, ne se trouve dans aucun dictionnaire latin. L'auteur de la préface du *Traité de l'art de la verrerie* d'Antoine Neri, le baron d'Holbach, adopte une version amplifiée; il suppose qu'à l'endroit où s'arrêtèrent ces marchands, « il se trouva une grande quantité de l'herbe communément appelée *kali*, dont les cendres donnent *la soude* et *la rochette;* il s'en forma du verre, la violence du feu ayant uni le sel et les cendres de la plante avec du sable et des pierres propres à se vitrifier ». Il n'est nullement question de cendres dans le récit de Pline.

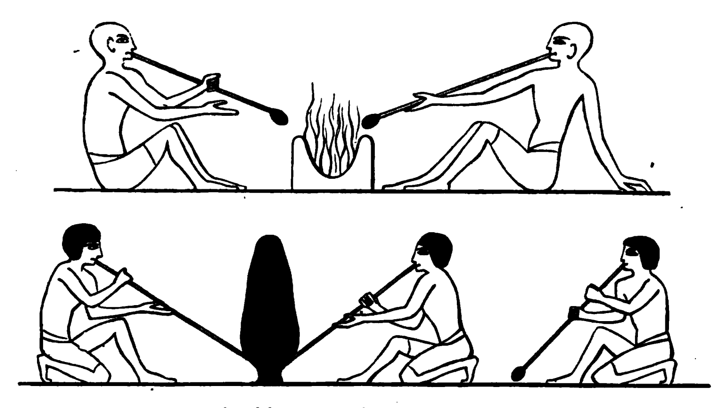


Fig. 51. — Verriers de Thèbes.

Sans insister davantage sur cette légende, les explorations des archéologues ont établi par les témoignages les plus certains que *l'art de fabriquer le*

verre était connu et pratiqué dès la plus haute antiquité C'est ce qu'attestent les bouteilles et autres objets de verre trouvés dans les nécropoles de l'Égypte et aussi les célèbres sculptures des grottes de Beni-Hassan représentant des verriers thébains accroupis devant leurs fourneaux et soufflant dans des cannes (fig. 51). Deux mille ans avant l'ère chrétienne, l'industrie du verre était déjà tellement avancée, que plusieurs des spécimens trouvés dans les fouilles n'ont pu encore être reproduits. Telles sont diverses pièces de notre Musée égyptien (salle civile, vitrine L), notamment les amphores et les petites bouteilles à long col sur piédouche, garnies d'ornements en verre de couleur ajoutés pendant la fabrication, alors que la matière était encore molle.

Dès les temps les plus reculés, le verre était pour les Phéniciens l'objet d'un commerce important. Leurs établissements de Tyr et de Sidon, à l'embouchure du fleuve Bélus, aujourd'hui Narhr-Halon, échangeaient leurs verreries contre des métaux ou des minerais avec les peuples du bassin de la Méditerranée, des côtes de l'Océan et de la Grande-Bretagne; on a même trouvé en Danemark des verroteries auxquelles on attribue une origine phénicienne.

De l'Égypte et de la Phénicie, l'art de faire le verre se propagea en Asie Mineure et en Assyrie : les fouilles du palais de Nemrod ont amené la découverte de plusieurs vases de verre qui sont actuellement au Musée britannique; sur l'un d'eux est gravé, d'un côté, un lion, et, de l'autre, une

inscription cunéiforme portant le nom de Sargon, roi d'Assyrie, qui vivait au VIIIe siècle avant Jésus-Christ.

C'est de l'Inde que les Égyptiens tiraient les minéraux qui leur servaient à colorer le verre. Les verreries de ce pays, très-anciennes aussi, nous sont peu connues; au dire de Pline, elles étaient les plus estimées et leur supériorité était due à la pureté du quartz dont se servaient les Indiens.

Les Éthiopiens, d'après Hérodote, étaient aussi fort habiles à faire le verre; mais c'est aux Grecs que l'on doit les produits les plus parfaits. « Je renonce, dit M. de Laborde dans sa *Notice sur les émaux du Louvre*, à citer les pièces en verre de travail grec que les collections publiques et particulières offrent à l'étude. Il y a des médaillons d'une beauté, de petites sections de filigranes d'une finesse de dessin, des masques de théâtre d'un comique, des bas-reliefs d'une élégance qui surpassent tout ce que l'on doit attendre du goût le plus épuré, associé aux procédés les plus ingénieux. »

L'invention des *millefiori*, dont le Musée de Grégoire XVI au Vatican offre de remarquables spécimens, est généralement attribuée aux Étrusques; mais les germes de cette fabrication se retrouvent dans divers produits d'origine grecque de la même époque. Ce n'est que dans les dernières années de la République que des verreries s'établirent à Rome. On sait qu'Auguste imposa à Alexandrie un tribut considérable en verre, tribut qui, loin de nuire aux fabricants, leur procura d'importantes commandes et assura la vogue de leurs produits.

Verrerie romaine. — Pline, dans son *Histoire naturelle*, donne de précieux détails sur la composition et les procédés de fabrication du verre chez les anciens. Nous les résumerons en peu de mots.

Les Romains se servaient de sable blanc, recueilli à l'embouchure du Vulturne; ils le mélangeaient avec du natron ou du nitre; quelquefois ils ajoutaient à la composition des coquilles de mollusques et de la craie fossile avec un peu de manganèse ou même des rognures de cuivre. L'analyse permet de retrouver facilement ces matières, entre autres le cuivre qui donne aux verres antiques leur teinte bleuâtre.

La fonte s'opérait par le procédé de double fusion dans des fours contigus. On faisait d'abord une fritte appelée *ammonitrum* avec le sable et le natron. Celle-ci était portée dans un autre creuset où s'opérait l'affinage[1]. C'est dans cette seconde partie de l'opération qu'on introduisait les agents décolorants ou les oxydes, s'il s'agissait de verre coloré. Le combustible était du bois léger et sec. Les objets étaient façonnés par le soufflage et taillés au tour.

On voit que ces procédés diffèrent peu des procédés modernes; il n'y a pas longtemps que la *fritte* n'est plus en usage; aujourd'hui même, elle est encore pratiquée pour plusieurs sortes de verre.

Dans les temps anciens, les verreries étaient situées pour la plupart sur les bords de la mer, à

1. *Dein miscetur tribus partibus nitri pondere vel mensura, ac liquata in alias fornaces transfunditur. Ibi fit massa, quæ vocatur ammonitrum; atque hæc recoquitur, et fit vitrum purum ac massa vitri candidi.* — (*Histoire naturelle*, livre XXXVI.)

l'embouchure des fleuves. La question du combustible, qui préoccupe les verriers modernes, avait alors moins d'importance que l'abondance et la qualité du sable; ils tenaient compte en même temps des facilités que la proximité de la mer donnait à l'écoulement des produits fabriqués. D'après Strabon, les sables d'Égypte étaient fort estimés; il en était de même de ceux de Cunes, à l'embouchure du Vulturne; les sables du fleuve Bélus, le berceau présumé du premier verre, ont joui pendant bien des siècles d'une réputation universelle; si bien qu'au moyen âge les Vénitiens avaient encore l'habitude d'en lester leurs navires pour approvisionner leurs verreries de Murano.

Les verres les plus appréciés chez les Romains étaient blancs et imitaient le cristal de roche[2]; on les préférait pour les usages de la table aux vases d'or et d'argent. Mais les verres de couleur étaient également fabriqués par eux en grande quantité.

Parmi les verres antiques les plus célèbres qui ont résisté à l'action destructive du temps et des hommes, nous citerons le vase de Naples, conservé dans le Musée de Naples; le vase de Portland, du *British Museum*, et le vase réticulé, qui existait avant la guerre de 1870 dans la bibliothèque de Strasbourg. Ces vases, qui sont probablement d'origine grecque, sont représentés dans les figures 52, 53 et 54.

1. *Maximus honos in candido translucentibus quam proxima crystalli similitudine.* (Pline.)

Le vase de Naples (fig. 52) a été trouvé en 1839 dans un sépulcre de Pompéi; connu sous le nom de *vase de Naples*, il est exposé dans le musée de cette ville. Sa hauteur est de 30 centimètres; les figures



Fig. 52. — Vase de Naples.

en relief, en émail blanc, d'un dessin et d'un fini très-remarquables, paraissent avoir été ciselées dans une couche de verre blanc qui recouvrait la masse vitreuse qui est transparente et d'un bleu foncé. Le pied de ce vase a été cassé. Quelques auteurs pensent que cette amphore a été faite pour être montée sur un socle en métal. On fait remonter sa fabrication au règne de Trajan.

Le vase (fig. 53), désigné successivement par les archéologues sous les noms de *vase Barberini* et de *vase de Portland,* a été pendant plus de deux siècles le principal ornement du palais des princes Barbe-



Fig. 53. — Vase de Portland

rini, à Rome; il a été adjugé dans une vente à la duchesse de Portland pour le prix de 1,800 guinées (46,800 fr.). Déposé au musée de Londres, il y a été brisé en mille morceaux par la canne d'un fou; mais il a été rétabli avec une incroyable habileté.

Ce vase unique, qui est présumé de l'époque des Antonins (l'an 138 environ avant Jésus-Christ), a été trouvé, vers le milieu du xvie siècle, aux environs de Rome, dans un sarcophage en marbre qu'on suppose être celui d'Alexandre Sévère.

Il est orné de figures blanches opaques, en relief, qui se détachent sur un fond bleu foncé. Avant que sa véritable nature fut établie, plusieurs auteurs l'ont décrit comme étant un camée antique en pierre dure, en onyx, en calcédoine ou en améthyste; le dessous du pied de ce vase est également gravé.

C'est un verre à deux couches, admirablement gravé. Le sujet qui le décore a donné lieu à de nombreuses controverses. Un archéologue autorisé, Millingen, suppose qu'il représente le mariage de Thétis



Fig. 54. — Vase de Strasbourg.

et de Pélée. Beaucoup de copies de ce vase en porcelaine de Wedgwood existent en Angleterre.

Le vase de Strasbourg (fig. 54) témoigne, par la difficulté de la fabrication, d'un art très-avancé. La

coupe est entourée d'une sorte de réseau en verre rouge; elle porte une inscription en verre vert qui, bien qu'incomplète, le haut du vase ayant été cassé par maladresse, permet de reconnaître le nom de MAXIMIANVS AVGVSTVS; c'était probablement l'empereur romain Maximilien Hercule, mort à Marseille en 310. Ce vase a été trouvé, en 1825, dans un cercueil déterré par un jardinier auprès des glacis de Strasbourg. Il n'est nullement établi, d'ailleurs, ainsi que l'ont avancé plusieurs auteurs, que ce vase soit de fabrication gauloise.

Parmi les découvertes faites dans ces derniers siècles dans diverses parties de l'Europe, on admire des coupes en verre admirablement taillées à jour. La plupart ont été trouvées dans des tombeaux. C'étaient les *vasa diatreta* des Romains. Chacun de ces vases portait, au gré de son possesseur, une inscription latine ou grecque, en lettres de verre, distantes d'un centimètre environ de la coupe à laquelle elles étaient fixées par de petites colonnes droites ou obliques : une ou deux bordures, merveilleusement taillées à jour et ne formant comme l'inscription qu'un tout avec le verre, complétait l'ornementation de ces vases.

Ces verres, ainsi que les vases irisés, imitant l'opale, qu'on appelait *allassontes*, étaient fort recherchés et d'un prix très-élevé; parfois ces derniers ont été donnés en présent par des empereurs romains à de hauts personnages ou à des membres de leur famille. On lit dans une lettre adressée par l'empereur Adrien, mort en 138, au consul Servien,

son beau-frère : « Je t'envoie des vases irisés de diverses couleurs que m'a offerts le prêtre du temple; ils sont spécialement destinés à toi et à ma sœur pour l'usage des repas, les jours de fête; prends garde que notre Africanus ne les casse. »

Plusieurs vases *diatreta*, dont la fabrication date de quinze à dix-huit siècles, sont conservés entiers ou en fragments au Cabinet impérial de Vienne et au Musée de Pesth [1]; les Romains attachaient à leur possession une importance particulière; car il en est fait mention dans le code de Justinien. On lit, en effet, dans le *Digeste* :

« Si tu as donné à faire un vase *diatretum* et si il est cassé par maladresse, il sera tenu compte du dommage causé; mais si il n'est pas cassé par maladresse, mais parce qu'il était déjà félé, l'excuse peut être admise [2]. »

Quant aux vases irisés, il est difficile de dire aujourd'hui quels étaient leur nature et leur mode de

1. Le docteur Pantohsck, de Zlatno (Hongrie), en s'inspirant de la vue de ces précieux spécimens, avait envoyé aux Expositions universelles de Paris et de Vienne une imitation de vase *diatretum* qu'il était parvenu à reproduire à la suite d'essais restés longtemps infructueux; cette pièce unique, d'une fabrication très-distinguée, était estimée par lui 10,000 fr.; aucun tailleur de cristaux n'avait voulu entreprendre ce travail : ce vase était le seul qu'il ait pu terminer sans accident sur trente-quatre pièces brutes qu'il avait fait souffler par le plus habile ouvrier de la verrerie de Zahn, à Zlatno.

2. *Si calicem diatretum faciendum dedisti, si quidem imperitiâ fragit, damni injuria tenebitur; si vero non imperitiâ fragit, sed rimas habuit vitiosas, potest esse excusatus.* (Code de Justinien. Ulpien., *Dig.*, 9, 2, 27, *ad finem.*)

fabrication; à moins qu'en raison de la composition défectueuse de leur verre, les anciens ne soient parvenus à développer à volonté et rapidement sur leurs produits cet aspect chatoyant et irisé que le temps a donné à un grand nombre de verrès retrouvés dans leurs monuments funéraires.

On peut invoquer aussi, en faveur de l'habileté des verriers de l'antiquité, le témoignage de Pline. L'historien latin s'emporte contre le luxe scandaleux de l'édile Marcus Emilius Scaurus, lequel, du temps du grand Pompée, fit construire un immense théâtre soutenu par trois rangs de colonnes; le rang du milieu était en verre[1]. Entre les colonnes étaient placées 3,000 statues en bronze. Le même auteur raconte que, sous le règne de Tibère, on imagina une mixture qui donnait un verre malléable et que toute la fabrique de l'artiste fut détruite pour empêcher l'avilissement du cuivre, de l'argent et de l'or. « Ce bruit, ajoute-t-il, a été longtemps plus répandu que le fait est certain; mais qu'importe? Du temps de Néron, on a trouvé un procédé de vitrification qui fit vendre 6,000 sesterces (1,260 fr.) deux coupes assez petites qu'on nomme *ptérotes* (ailées). »

Tous ces témoignages mettent hors de toute contestation l'incomparable habileté des anciens verriers. « Mais, dit M. H. de Fontenay dans les notes qu'il m'a remises, ces spécimens, types des diverses

1. *Prima pars scenæ e marmore fuit; media e vitro, inaudito etiam postea genere luxuriæ.*

formes que l'art antique a su revêtir et qui nous en donnent une si haute idée, ne suffisent pourtant pas à éclaircir certains textes dans lesquels sont mentionnés et décrits des verres tout différents, plus estimés encore et dont il ne nous reste aucune trace. De ce nombre étaient les vases murrhins que fabriquaient les Parthes[1] et aussi les petites coupes « ptérotes » (*ailées*) qui se vendaient, sous Néron, 6,000 sesterces la paire; suivant M. A. Deville, ces verres étaient d'une grande ténuité et l'épithète d' « ailés » ne leur était donnée qu'à cause de leur extrême légèreté. Nous ferons remarquer, d'une part, que le verre mince était désigné par les Romains sous le nom de nuage de verre, *nimbus vitreus* (Martial, ép. 112, liv. IV); d'autre part, que la fabrication des verres minces ne présente pas de grandes difficultés; on rencontre dans les fouilles nombre de fragments ayant appartenu à des verres très-minces; ceux-ci n'étaient pas rares à Rome, surtout ceux en *moulé soufflé*. Les petites coupes dont parle Pline avaient certainement d'autres mérites qu'une légèreté qui ne suffit pas pour expliquer leur prix. Aussi l'opinion de M. A. Deville ne nous paraît pas très-plausible et nous sommes plutôt porté à croire que ces verres étaient des objets artistiques, dans le genre des verres de Venise, garnis d'anses ou de supports en forme d'ailes. »

On fabrique, dit Pline, un verre rouge teint dans

1. D'après divers auteurs, les vases murrhins étaient en spath fluor, en opale ou en ambre. On sait, par les récits de Pline, la valeur énorme que leur attribuaient les Romains.

la masse « *totum rubens vitrum* » et opaque appelé verre hématin, « *atque non translucens hæmatinon appellatum* ».

Le musée du Louvre a acquis récemment un petit vase en verre hématin, trouvé dans les fouilles de Constantine, qui répond exactement à la description de Pline. On voit aussi au musée de Sèvres de petits cubes de mosaïque provenant du temple de Jupiter à Rome, qui sont aussi en verre hématin.

Enfin M. Bulliot a découvert au mont Beuvray de nombreux fragments de ce même verre, dont les Gaulois se servaient pour émailler leurs bronzes[1].

Ces trois échantillons, de provenances si différentes, mais de même composition chimique, montrent que cette sorte de verre, que nous ne connaissons plus, était appliquée par les anciens à plusieurs usages.

La plupart des couleurs mises en œuvre par la

1. MM. Bulliot et H. de Fontenay ont publié récemment un travail fort intéressant sur l'*Art de l'émaillerie chez les Éduens avant l'ère chrétienne*. 1875. La composition qu'ils donnent de l'émail des orfèvres gaulois est la suivante :

Silice	42,89
Oxyde d'étain	2,25
Oxyde de plomb	28,30
Oxydate de cuivre	6,41
Alumine	2,75
Oxyde de fer	2,45
Chaux	8,28
Soude (par diff.)	6,67
	100,00

verrerie moderne étaient connues des anciens; ils connaissaient même le rose obtenu par l'or, coloration dont la découverte a été attribuée à tort à Kunckel. Nous avons dit que, pendant notre première révolution, Darcet sauva à grand'peine de la destruction des vitraux rouges qu'on voulait fondre pour en extraire l'or; mais douze cents ans auparavant, un fait analogue s'était déjà produit. Grégoire de Tours, qui vivait au VIe siècle, raconte qu'un voleur, s'étant introduit dans une basilique, en brisa les vitres, qu'il fit fondre, pensant y trouver de l'or; comme celles de Darcet, elles ne contenaient que du cuivre. Mais on voit que la croyance populaire était bien ancienne, et elle n'était pas absolument sans fondement; car, outre la tradition, nous avons des preuves apportées par des fouilles récentes qui ne laissent aucun doute sur la connaissance qu'avaient les anciens du mode de coloration des verres par l'or.

« L'art de la verrerie, ajoute M. H. de Fontenay, tombé en décadence sous les règnes de Gallien et de ses successeurs, se relève quelque peu sous celui de Tacite. L'antique beauté des formes avait fait place à des conceptions bizarres ou priapiques. Martial nous apprend qu'on recherchait à Rome des verres appelés « verres de savetier », fabriqués d'après l'image d'une espèce de bouffon de Bénévent que Néron affectionnait particulièrement. Commode, comme plus tard le czar Pierre le Grand, aimait à boire dans des coupes en forme de phallus. Ailleurs nous lisons qu'Héliogabale offrit un jour à ses para-

sites affamés un festin composé de mets de verre, imitant à s'y méprendre les mets naturels. Nous nous bornons à ces exemples, qui témoignent tout à la fois de la décadence des mœurs et de l'habileté extraordinaire des ouvriers de l'empire romain. »

Pour compléter ces indications sommaires sur la verrerie dans l'antiquité, il est bon de constater quelle était la position sociale des ouvriers verriers. « Nous saurons ainsi, dit M. Fillon[1], d'où sont venues les prétentions à la noblesse qu'ils émirent au moyen âge et quelle fut la cause de la persistance sur plusieurs points de la fabrication du verre durant une longue série de siècles. »

« Une loi de Constantin Ier, de l'an 337 (*C. ad. Maximum*), avait compris le *vitriarii* parmi les trente-cinq professions exemptes de toutes charges publiques, sans faire aucune différence entre elles. C'étaient : les architectes (*architecti*), les lambrisseurs (*laquearii*), les ouvriers en argent (*argentarii*), les médecins (*medici*), etc., etc. Les exemptions accordées à ces diverses professions avaient seulement pour but, dans la pensée du législateur que touchait l'intérêt général, de faciliter à ceux qui les exerçaient les moyens de devenir plus habiles et d'initier leurs enfants aux pratiques de leur art. Mais ce principe reçut, dans la suite des temps, certaines interprétations qu'on était loin de prévoir lorsqu'on le mit en

1. *L'art de terre chez les Poitevins, suivi d'une étude sur l'ancienneté de la fabrication du verre en Poitou,* par Benjamin Fillon. 1864.

pratique. Chaque métier devint le patrimoine exclusif d'un nombre limité de familles... Ce fut ainsi que les verriers, protégés par l'espèce de solidarité qui semble avoir existé entre eux dans toute la Gaule et par l'isolement de leur existence au fond des bois, conservèrent, à travers huit siècles d'invasions étrangères et de révolutions sociales, la qualité d'*ingenui*, d'hommes libres, et se trouvèrent ensuite, dans diverses régions de l'Europe, faire naturellement partie de la classe noble, parce qu'ils en avaient déjà les immunités... Les ouvriers en verre ne maintinrent pas sans peine leur position au milieu de la société féodale, qui considérait tout travail comme servile. Aussi les vit-on rarement s'éloigner beaucoup du lieu où leur noblesse avait reçu la consécration de la notoriété publique. Certaines fabriques furent exploitées, pendant des centaines d'années, par des générations successives des mêmes familles. »

Il n'est pas sans intérêt de faire remarquer que, bien des siècles plus tard, les motifs qui avaient donné aux verriers une position sociale exceptionnelle étaient encore invoqués en faveur du maintien de leurs priviléges : Dans les *lettres patentes* du 24 septembre 1647, qui concèdent au maréchal de Villeroy le privilége général précédemment accordé au duc d'Amville pour *l'establissement de verreries, glaceries et esmailleries* dans le royaume de France pendant vingt années, le roi rappelle « que ses prédécesseurs se sont attachés à faire fleurir les arts et les sciences par l'introduction des manufactures.

afin de rendre leurs états plus indépendants des royaumes voisins. »

« Entre lesquelles manufactures l'Art de la Verrerie leur ayant semblé un des plus nobles et des plus excellents, ils auroient voulu, pour le rendre d'autant plus estimable et exciter davantage leurs Sujets à s'y perfectionner, attribuer aux Maistres et Ouvriers d'iceluy, plusieurs priviléges et franchises; mesme l'auroient choisi pour servir d'une retraite honorable aux Gentils-hommes, à qui pour cet effet, ils auroient permis de travailler audit Art sans déroger à leur Noblesse. Et parce qu'il ne peut être exercé (l'art de la verrerie) que dans les forests dont la conservation est utile à l'Estat, et qui sont pour l'ordinaire esloignées de la veue des Iuges et du commerce des hommes; ils se seroient réservés, afin d'empescher les abus qui s'y pouvoient introduire, le pouvoir de faire establir lesdites Verreries par ceux qu'ils en jugeroient dignes, et les auroient par ce moyen rendues dépendantes de leurs domaines : A quoy ils auroient adjousté plusieurs ordonnances et règlements, etc. etc. »

Ces *lettres patentes* étaient octroyées dans le but de réglementer l'art de la verrerie, qui était tombé dans une grande décadence « estant exercé par gens roturiers et estrangers qui ne donnent l'accès de leurs verreries qu'à des personnes de leurs estoffes, et en refusent l'entrée aux Gentils-hommes incommodés de biens, lesquels seroient bien aises de s'occuper dans une profession qui leur fust utile et dans laquelle ils puissent conserver leur noblesse ».

En terminant cette appréciation de la verrerie ancienne, il n'est pas superflu de faire observer que les anciens ne connaissaient le verre que sous la forme d'objets de luxe d'une grande valeur,

figurant dans leurs fêtes, servant à décorer leur palais et les temples des dieux; ces objets étaien déposés, comme hommages pieux, dans la tomb des morts; sans cette coutume, que les disciple du Christ ont à leur tour empruntée aux païens, aucu de ces verres antiques que nous admirons ne serai



Fig. 55. — Verreries grecques et romaines

venu jusqu'à nous. Ainsi, pour les anciens, le verre de même que les poteries, avait un mérite pureme artistique. La verrerie usuelle, qui, par son bas pri et par la variété de ses formes, a pénétré dans to nos ménages, leur était absolument inconnue. On peut indiquer d'une manière précise l'époque laquelle le verre devint réellement commun; moyen âge, Venise ne produisait encore que d

objets de luxe. Il semble probable que les verreries de la Gaule et celles de la Bohême ont beaucoup contribué par le bon marché de leur fabrication à vulgariser l'emploi du verre.

Verrerie chrétienne. — Le christianisme naissant, ayant pour règle la simplicité, évita les raffinements décoratifs dans les ustensiles de verre. Le calice de l'autel, d'abord en bois, fut fabriqué en verre, sous le pape Zéphirin (197-217). Néanmoins l'usage des calices en verre fut interdit par le concile de Reims en 803 : plusieurs de ces vases sacrés ont été conservés et sont décrits par Seroux d'Agincourt dans son *Histoire de l'art par les monuments.* On a rencontré dans les catacombes des premiers chrétiens un grand nombre de vases en verre, notamment des lacrymatoires ou des urnes funéraires; ces objets portent souvent des inscriptions gravées ou moulées en relief.

Un genre de décoration, déjà en usage chez les païens, et qui fut continué pendant le moyen âge jusqu'au XIVe siècle pour renaître en Bohême au XVIIIe, était fréquemment employé par les verriers chrétiens des premiers siècles. « Sur une feuille d'or appliquée au fond d'un verre à boire, on traçait légèrement, avec une pointe très-fine, des lettres ou bien on dessinait des figures... on appliquait par-dessus une couverte de verre, de manière que, soudé au feu l'un contre l'autre, les verres laissaient voir les figures et les inscriptions (d'Agincourt). »

Ce même procédé a été souvent et est encore em-

ployé pour les petits cubes de verre doré, servant à faire les mosaïques.

D'Agincourt et Boldetti ont décrit des coupes ainsi faites, qui servaient probablement pour les agapes, dans le fond desquelles est représentée la figure du Christ, celle des principaux apôtres, la résurrection de Lazare, etc.; on a découvert pareillement, dans l'église Sainte-Ursule, à Cologne, toute une série de vases à sujets bibliques dans le genre de ceux qu'on a trouvés dans les catacombes.

A la verrerie chrétienne il convient de rattacher le singulier vase en forme de poisson trouvé dans un polyandre et déposé au musée d'Autun. La

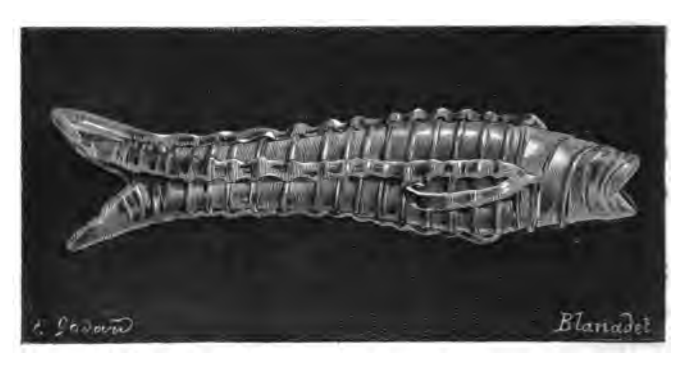


Fig. 56. — Poisson en verre du musée d'Autun.

figure 56 représente ce vase d'après une photographie que je dois à M. de Fontenay.

Le poisson, dont le nom grec est le monogramme du Christ, était, comme on sait, le symbole du chrétien des premiers âges. On suppose que ce vase servait soit à baptiser, soit à contenir les saintes huiles.

Verrerie de la période romano-gauloise. — Pline nous apprend que des verreries à l'imitation de celles de Rome existaient de son temps dans la Gaule et en Espagne. Les fouilles ont, en effet, mis à découvert, sur divers points, d'anciens verres de l'époque gallo-romaine. L'une des plus importantes, celle d'Arles, a fourni à M. Quicherat l'objet d'un travail fort intéressant. (*Revue archéologique,* juillet 1874.)

Les verroteries d'Arles recueillies en très-grand nombre sur le même emplacement, à la pointe du Delta du Rhône, sont de beaucoup postérieures à la Conquête; antérieurement, les Gaulois connaissaient le verre; mais il ne paraît pas qu'ils s'en servaient pour fabriquer des produits usuels.

Parmi les verreries extraites des tumulus celtiques, les uns sont de provenance phénicienne, notamment celles des menhirs de Carnac (Morbihan), les autres sont grecques; d'autres sont gauloises; les ornements quadrillés, composés de lignes droites ou brisées en chevrons, sont caractéristiques pour ces dernières. On en a trouvé en France dans d'autres localités et aussi en Autriche dans le riche polyandre celtique de Hallstadt.

Les Gaulois se servaient de boules de différentes couleurs qui désignaient les rangs et les classes : ces boules se retrouvent en assez grande quantité dans les dolmens, les menhirs et les *oppidum;* avec quelques bracelets, elles constituent tout ce qui nous reste de la verroterie gauloise; néanmoins la connaissance qu'avaient les Gaulois de la nature du verre, de la manière de le colorer et de lui donner l'opa-

cité, ressort clairement des objets en émail *hématin* appliqués sur bronze, ainsi que des fours, ustensiles. déchets de fabrication, etc., trouvés dans les fouilles de l'*oppidum* du mont Beuvray; ces objets, ainsi que ceux qu'on rencontre journellement dans les sépultures, démontrent que, contrairement à l'opinion de Loysel, l'industrie verrière existait chez les Gaulois.

« Toutes les fois qu'on rencontre dans notre sol un cimetière de cette période, on est assuré d'y trouver, si petit qu'il soit, un nombre considérable de vases de verre, de formes variées et parfois d'un travail très-soigné... Le territoire des Pictons, pays très-boisé et très-bien pourvu des matières premières qui servent à composer le verre, en a, par exemple, possédé plusieurs dont l'emplacement est encore désigné soit par des dénominations caractéristiques, soit par la présence de scories vitreuses, de restes de fourneaux ou de fragments de creusets... les lieux nommés jadis *Verreria, Vitreria, Verreriæ, Vitrinæ,* appelés depuis la Verrerie, les vieilles Verreries, la Voirie, Verrières, Voirières, Verrines, etc., ont dû leurs dénominations à des manufactures de verres, dont plusieurs remontent au IIe ou au IIIe siècle. » (M. Fillon.)

Les localités de l'ancien Poitou où l'on a trouvé le plus de verres antiques sont Poitiers et Écuré, dans la Vienne, et Rezé, dans la Loire-Inférieure. La plus ample moisson provient du tombeau de *la femme artiste* de saint Médard-des-Prés, qui date du milieu du IIIe siècle. Il en contenait à lui seul près de 80. M. Fillon a donné, dans le chapitre de *Poitou*

et Vendée, la description détaillée de cinquante-six de ces vases et la gravure des principaux types. Le verre en est verdâtre, parfois bleuâtre et d'une médiocre transparence : il est de même nature que celui de nos bouteilles. Parmi ces verres, quelques-uns sont en émail ou en cristal à base de plomb; néanmoins, comme l'analyse complète de ces verres n'a pas été faite, il n'est pas bien établi, ainsi que nous le dirons plus loin, que nos ancêtres connaissaient le cristal, bien que les émaux riches en plomb, servant à faire des imitations de pierres précieuses, des perles pour bracelets, des incrustations dans le bronze, etc., leur fussent connus. D'autres verres sont bleus ou jaunes; quelques-uns sont translucides, ou présentent des dessins ou des torsades en émail rouge, vert ou bleu.

Les verres avec ornements en relief, provenant des fouilles de Rezé, rappellent, quant au procédé de fabrication, le fameux vase de Portland. Mais le monument le plus curieux qu'ait fourni le sol poitevin est, sans contredit, la coupe de verre jaune, orné de combats de gladiateurs, trouvée dans une sépulture de gladiateur au Cormier (Vendée), dont le dessin est représenté page 332 (fig. 57).

Cette coupe est en verre moulé; des bavures qui se sont produites aux points de jonction du moule indiquent que celui-ci était de deux pièces. Au-dessus de chaque figure de gladiateur est son nom. Il y en a huit : COLVMBVS CALAMVS, HOLES, etc.

Des coupes analogues ont été découvertes aux environs de Chambéry, à Autun, à Trouville-en-Caux,

à Hartlip, dans le comté de Kent (Angleterre). Il en existe aussi des spécimens au cabinet des antiques de Vienne, en Autriche et à Wiesbaden. La ressemblance frappante de fabrication et de style qui apparaît dans toutes ces coupes indique qu'elles ont été faites sur un modèle convenu et qu'elles avaient une destination déterminée. Les sujets



Fig. 57.

qu'elles représentent, assauts de gladiateurs, jeux du cirque, courses de chars, rappellent les hauts faits de combattants et d'automédons aimés du public, et que leur courage, leur force ou leur adresse avaient rendus célèbres. Tout démontre donc qu'elles étaient offertes, à titre de récompense, à ceux qui marchaient sur la trace de ceux-là. Elles doivent remonter au Ier ou au IIe siècle. Reste à savoir en quel pays elles ont été faites. (M. Fillon.)

Ces coupes étaient *l'objet d'art* qu'on donne aujourd'hui dans nos concours hippiques, agricoles et autres.

Verrerie juive. — Dans le *Traité des eaux et fontaines,* de Bernard Palissy, on lit ce qui suit : « Aucuns disent que les enfants d'Israël ayant mis le feu en quelques bois, le feu fut si grand qu'il échauffa le nitre avec le sable jusque à faire couler et distiller le long des montagnes et que dès lors on chercha l'invention de faire artificiellement ce qui avait esté fait par accident pour faire le verre. » C'est, comme on voit, une variante de la légende de Pline ; mais il n'en est pas moins certain que les Israélites savaient fabriquer le verre bien avant l'ère chrétienne.

Eraclius, dans son traité : *Quomodo pingitur in vitro,* parle du verre de plomb, qu'il appelle le verre juif (*plumbum vitrum, judæum scilicet*). Au moyen âge, les Juifs se livraient, surtout en Italie, à une sorte d'industrie clandestine consistant à imiter les pierres précieuses naturelles. Certains auteurs ont conclu de là qu'il faut accorder aux Juifs l'invention des verres à base de plomb. Mais M. H. de Fontenay, en analysant le verre *hématin*, d'une origine différente et bien plus ancienne, a constaté que ce verre renferme aussi beaucoup de plomb ; d'un autre côté, Pline insiste sur ce fait qu'il était très-difficile de distinguer les pierres vraies d'avec les fausses que l'on fabriquait à Rome en grande quantité ; ces dernières, ajoute-t-il, étaient néanmoins plus tendres : ces imitations ne pouvaient guère être faites qu'en ajoutant à la composition de grandes quantités de plomb.

Les verreries de la Palestine subsistèrent pendant une très-longue période, et miss Martineau, dans ses voyages, en retrouve encore à Hebron. L'ancienne

verrerie juive a beaucoup de rapports avec la verrerie vénitienne; ce sont les Juifs qui ont apporté cette industrie à Venise; c'est à eux qu'on doit la conservation de la plupart des procédés de la verrerie des anciens.

Verrerie chez les Grecs du Bas-Empire. — Lorsque Constantin transporta le siége de l'empire à Byzance, il appela les artistes les plus renommés en tous genres et notamment des verriers qui, de Rome, vinrent dans cette ville. Les verriers furent exemptés de tout impôt personnel par une loi du code Théodosien. Au x[e] siècle, dans l'énumération des présents envoyés par l'empereur romain Lécapène à Hugues, roi d'Italie, figurent des vases de verre à côté de coupes en agate et en onyx. Des verreries existaient à Thessalonique, en Macédoine et aussi à Alexandrie et en Phénicie. Après la conquête arabe, elles continuèrent à prospérer, et, pendant tout le moyen âge, les établissements d'Orient, arabes ou byzantins, furent seuls en possession de la fabrication des verres de luxe et en particulier des vases dorés et émaillés.

Les produits des verreries grecques, comme ceux de la Syrie et de l'Égypte, étaient désignés au moyen âge sous le nom générique de *verreries de Damas.*

Verreries du moyen âge et de la renaissance. — Bien que la fabrication du verre ait perdu beaucoup de son activité à partir de la seconde moitié du iv[e] siècle, un certain nombre de vases d'une fabrication assez

distinguée ont été recueillis dans diverses localités, notamment dans les cimetières mérovingiens.

Les musées de Saint-Germain, de Rouen, de Nîmes, renferment beaucoup de verres, la plupart, à la vérité, d'une teinte verdâtre et d'une fabrication assez vulgaire, dont la fabrication toute locale remonte à l'époque mérovingienne.

Il en fut ainsi en France pendant toute la durée du moyen âge. Les vases décorés venaient de l'Orient et provenaient des fabriques juives, arabes ou byzantines.

Parmi les objets remarquables par leur fabrication, mais dont l'origine est incertaine, on peut citer une coupe en verre transparent, vert foncé, avec filets et bordures jaunes, décrite par M. Fillon; le mot inscrit en relief sur la panse est formé de baguettes et d'émail blanc. Elle a été trouvée, en 1862, dans le cercueil d'une femme, à Grues (Vendée), avec plusieurs autres objets en verre. Sa fabrication remonte, selon toute probabilité, à la seconde moitié du VIe siècle.



Fig. 58.

Au temps de Saint-Louis, on se servait de vases de verre pour les usages de la table. « Le comte d'Eu dressait sa Bible du long de nostre table et nous brisait nos pos et nos vouerres. » (Joinville.)

Au XIIe siècle, les verreries de Vendôme (Loir-et-Cher) avaient déjà un certain renom; celles de Flandres et de Montpellier sont mentionnées dans

les chroniqueurs, les comptes royaux et les inventaires. Vers la même époque, Humbert Ier imposait aux verriers du Dauphiné certaines redevances annuelles moyennant lesquelles il leur accordait pleine protection.

Beaucoup de verreries, dont plusieurs sont encore en activité, furent fondées pendant le XIVe et le XVe siècle. Chaque province mériterait une histoire particulière, ainsi que cela a été fait pour le Poitou par M. Fillon, et par M. l'abbé Cochet pour la Normandie.

A mesure que nous nous rapprochons des temps modernes, les documents écrits se multiplient et leur nombre dépasse de beaucoup celui des verres qui sont venus jusqu'à nous; en ce qui concerne le Poitou, M. Fillon cite une foule de chartes et de lettres antérieures au XVe siècle, qui établissent l'importance des verreries dans cette province. Sous le règne de Henri II, les verreries se multiplièrent et les manufactures du Poitou eurent à soutenir la concurrence de celles du Limousin, de l'Angoumois et de la Saintonge. Au nombre des verres de cette époque, M. Fillon mentionne un drageoir dont le pied et le bord du plateau sont bleus, tandis que le reste est blanc avec des ornements qui sont exécutés en or; l'écusson royal de France, peint au milieu du plateau, a été calqué sur celui d'un écu d'or du temps de Charles VIII. Il donne aussi le dessin d'un joli verre à côtes, avec lettres en émail blanc en relief. Ce verre paraît dater de la première moitié du règne de François Ier. L'industrie du verre

existait en même temps en Normandie; elle y avait pris un assez grand développement.

Quant aux appareils et aux procédés pour travailler le verre, ils ont peu varié dans leur ensemble, tout en recevant du temps et de l'expérience des perfectionnements considérables. La figure 59 est un *fac-simile* réduit de l'intérieur d'une verrerie; il est tiré de l'ouvrage d'Agricola *de re metallicâ* imprimé à Bâle en 1556. Ce curieux dessin a été copié plus tard, sans indication d'origine, par Neri et par Haudicquer de Blancourt.

Verreries de Venise. — Pendant les XI[e] et XII[e] siècles, Venise s'enrichit beaucoup par son commerce avec l'Orient, et ses relations continuelles eurent de grands résultats en ce qui concerne la verrerie. Au dire des historiens de Venise et en particulier de Carlò Marin, les verreries étaient presque contemporaines de la fondation de la ville. La République, ayant participé à la prise de Constantinople par les Latins (1204), chercha, avec l'esprit commercial qui l'animait, à tirer tout le parti possible de sa victoire en faveur de ses industries naissantes. Les verreries de l'empire d'Orient furent visitées par les agents de la République, et des ouvriers grecs furent attirés à Venise. Sur la fin du XIII[e] siècle, les manufactures de verre se multiplièrent tellement dans la ville et les incendies devinrent si fréquents qu'un décret du Grand-Conseil obligea tous les propriétaires à éteindre leurs fours et à transporter leurs usines hors des murs. C'est alors que fut choisie l'île de



Fig. 59. — Four de verrerie du XVIe siècle.

Murano. En peu d'années, elle se couvrit d'un nombre considérable de verreries de tous genres, principalement de fabriques de verroteries et de bijouterie de verre. C'est à l'instigation du célèbre voyageur Marco Polo que les Vénitiens se livrèrent bientôt à la fabrication presque exclusive de ces produits. Marco Polo, de retour à Venise dans les dernières années du XIII[e] siècle, enseigna à ses concitoyens les routes à suivre pour répandre les produits de leur industrie dans l'Asie centrale, dans l'Inde et jusqu'en Chine. Cette fabrication des perles de *conterie* nuisait alors beaucoup à celle des verres de luxe, et, à cette époque (1400), c'était encore de l'Orient qu'on tirait tous les verres colorés, dorés ou enrichis d'émail.

La prise de Constantinople (1453) par les Turcs amena l'émigration d'un grand nombre d'artistes grecs, qui vinrent s'établir à Venise; dès lors, la fabrication des verres prit une nouvelle direction, et la beauté, comme la variété des produits vénitiens, excita bientôt l'admiration universelle.

Vers le milieu du XVI[e] siècle, l'invention des filigranes en verre blanc opaque, contournés en mille dessins variés, vint encore ajouter à la faveur dont jouissaient les verres de Venise, et le gouvernement, jaloux de ces succès, prit les mesures les plus sévères pour empêcher que, par l'émigration des ouvriers, les procédés qu'ils employaient fussent connus au dehors. On sait que ces mesures étaient topiques. Nous avons donné, à propos des glaces, le texte d'un

décret de l'Inquisition d'État, copié par M. Daru dans son *Histoire de la République de Venise.* L'auteur ajoute que, dans un document déposé aux archives étrangères, on trouve deux exemples de l'application de ce décret à des ouvriers que l'empereur Léopold avait attirés en Allemagne.

Si la République était sévère pour ceux qui trahissaient les secrets de son industrie, elle comblait de faveurs les ouvriers qui obéissaient à ses prescriptions. Ainsi, les verriers n'étaient pas classés parmi les artisans. Les nobles patriciens pouvaient épouser les filles des verriers de Murano sans déroger en aucune façon et les enfants qui naissaient de ces unions conservaient tous leurs quartiers de noblesse. Lorsque Henri III vint à Venise en 1573, émerveillé de l'habileté des ouvriers et ébloui par la beauté des produits qu'ils fabriquaient, il accorda la noblesse aux principaux maîtres verriers de Murano. En 1602, le Sénat confirmait un arrêté de la commune de Murano qui avait institué un livre d'or, à l'instar du *Libro d'oro* nobiliaire, à l'effet d'y inscrire les familles originaires de Murano.

« Protégés par des lois sévères, investis de grands priviléges, les verriers de Murano s'élevèrent au rang d'artistes distingués. Leurs vases émaillés du xve siècle, leurs coupes et leurs aiguières à ornementations filigraniques du xvie, ne le cédèrent en rien pour la forme et la décoration aux plus beaux produits de l'antiquité, et l'Europe entière devint pendant deux cents ans leur tributaire.

Mais la mode s'étant portée au commencement du XVIIIe siècle vers la verrerie de Bohême, on ne rechercha plus que le verre taillé et à facettes, au grand détriment de l'élégance et de la légèreté des



Fig. 60. — Verres de Venise du Musée de Cluny.

formes. La chute de la République, l'abolition des priviléges octroyés aux verriers de Venise, donnèrent le dernier coup à cette industrie, et les fabriques de Murano ne s'occupèrent plus qu'à fabriquer des ustensiles domestiques en verre commun[1]. »

1. *Histoire des arts industriels au moyen âge et à l'époque de la renaissance,* par M. Jules Labarte, membre de l'Institut; 2e édition, t. III, 3e et 4e fascicules.

Verrerie de Bohême. — En Autriche, le verre formait déjà, sous les empereurs saxons, une branche importante de commerce. Le livre des princes d'Enenchel mentionne les verriers figurant à la fête de Noël que les bourgeois de Vienne donnèrent en 1221 au prince Léopold. Dans la première moitié du XVe siècle, il existait en Allemagne des verreries où l'on s'efforçait d'imiter les produits de Venise, qui avaient alors une grande vogue. En 1428, un verrier de Murano, Onossorus de Blondio, avait établi une usine à Vienne. Un autre, en 1486, Nicolas dit le Welche, demandait l'autorisation de fonder un établissement pour faire des verres à la façon de Venise; le conseil d'État accueillait sa demande et lui accordait même une exemption d'impôts pendant dix ans; sa verrerie, construite à Vienne dans les environs du Prater, était encore en activité en 1563. Une autre « à la mode italienne » fut installée à Veidlingan, près Vienne, sous le règne de l'empereur Ferdinand Ier. On faisait alors de grands efforts pour transplanter en Autriche l'industrie des Vénitiens : à cette époque, la vogue des produits italiens était immense en Allemagne et on cherchait, sans grand succès, à les imiter.

Au XVIe siècle, les verriers allemands commencèrent à suivre une autre voie, et leurs produits, d'un genre nouveau et original, vinrent contre-balancer l'influence vénitienne qui régnait seule depuis deux siècles. C'est vers l'an 1553 qu'on commença à fabriquer les *Willkomm* (appelés improprement *Wiederkomm*) en verre blanc ou vert, peints

avec des couleurs d'émail, ainsi que les menus objets en ronde bosse, figures du Christ, formes d'animaux, etc., qui datent des XVIe et XVIIe siècles et qu'on rencontre en grand nombre dans les musées de Vienne, de Munich et de Berlin. La fabrication des *Willkomm* a cessé vers le premier quart du XVIIIe siècle; on a essayé de la ressusciter en Bohême dans ces derniers temps; mais ces imitations des anciens verres émaillés sont fort grossières.



Fig. 61. — Willkomm de Bohême.

La première verrerie de la Bohême paraît avoir été établie près de St-Georgenthal par Peter Berka; une autre fut fondée à Daubitz en 1442; celles de Falkenau, près Steinschönau, et de Krubitz datent de 1504.

L'industrie du verre se répandit sur tout le territoire de la Bohême; de nombreuses usines s'établirent au milieu des forêts qui leur fournissaient le combustible, le quartz et la chaux; beaucoup ont conservé encore aujourd'hui leur organisation toute primitive.

Dans la première moitié du siècle dernier, cette industrie prit un développement considérable, par suite de la patente que l'impératrice Marie-Thérèse donna aux fabricants de verre émigrant en Autriche. Les vastes forêts du Böhmerwald et du Riesengebirg, avec leurs gisements inépuisables de quartz pur, devinrent les siéges principaux des verreries nouvellement fondées.

L'industrie de la Bohême s'affranchit peu à peu des formes vénitiennes : les formes et les profils de ses vases sont plus lourds; mais les colorations sont beaucoup plus variées; la gravure à la roue, d'origine allemande, a été portée à un haut degré de perfection. La prohibition absolue, qui a frappé jusqu'en 1860 les verres de Bohême, a beaucoup contribué à leur donner une réputation qu'ils ont perdue dès qu'ils ont pénétré librement sur notre marché; ils ont eu longtemps pour nous la saveur du fruit défendu. Néanmoins il est juste de reconnaître que, sauf pour les anciens Willkomm, et contrairement à ce qui est arrivé aux verreries de Venise, la fabrication allemande a constamment progressé sous le rapport de la pureté du verre et du mérite de la gravure.

Verrerie anglaise; cristal. — L'industrie du verre s'est développée tardivement en Angleterre. Bentham rapporte, d'après Bède, qu'en l'année 675 l'abbé de Vermouth, envoyant chercher en France des artistes capables de bâtir une église dans le style romain, fit venir aussi des ouvriers pour fabriquer les verres dont il voulait orner les fenêtres de cette

église, attendu que l'art du verrier était alors absolument inconnu en Angleterre [1].

Une charte de 1399 mentionne un entrepôt des verreries de Venise à Londres, à la fin du xiv[e] siècle. Suivant Thomas Charnock (mort en 1557), des verreries existaient de son temps dans le comté de Sussex. La reine Élisabeth fit venir des verriers vénitiens; Jean Quarré, d'Anvers, fut aussi appelé pour faire des miroirs « comme ceux de France ».

La gobeleterie était tirée de France, des Pays-Bas, mais surtout d'Allemagne. Néanmoins un document relatif à un verrier nommé George Longe, daté de 1589, rapporte que seize verreries existaient alors en Angleterre.

En 1635, Robert Mannsell obtint un privilége pour l'application de la houille au chauffage des fours de verreries.

La révocation de l'édit de Nantes (1685) amena l'émigration d'un grand nombre d'ouvriers verriers qui vinrent s'établir en Angleterre et qui contribuèrent puissamment au développement de leur industrie dans ce pays. Dans la première moitié du xviii[e] siècle, les verres anglais étaient préférés aux verres de Bohême pour les usages de la table; une révolution des plus importantes venait, en effet, de s'opérer dans l'industrie verrière; le *cristal*, verre à base de plomb, que les Anglais désignent sous le nom de *flint-glass*, venait d'être découvert chez eux et se substituait avec avantage aux verres ordinaires à

1. D'Agincourt, *Histoire de l'art par les monuments*, t. II, p, 143.

base de chaux et d'alcali[1]. Il est difficile d'établir d'une manière certaine la date exacte de cette substitution. Ce qui est certain, c'est que, vers 1665, le verre à base de plomb n'était pas encore fabriqué en Angleterre : on lit, en effet, dans les notes que le docteur anglais Merret a jointes à l'*Art de la verrerie* de Neri et à l'occasion d'un verre plombeux dont on se servait sur le continent pour imiter les pierres précieuses : « Le verre de plomb n'est point en usage dans nos verreries d'Angleterre, à cause de sa trop grande fragilité... Si cette espèce de verre avait la même solidité que le verre cristallin, il serait supérieur à tous les autres, à cause de la beauté de sa couleur ».

Nous avons vu que la substitution de la houille au bois, devenu rare en Angleterre, date de 1635; elle fut, d'après M. Bontemps, l'origine de la fabrication du cristal. « En employant le nouveau combustible, on dut bientôt s'apercevoir que ce verre était plus coloré que celui qu'on avait précédemment fondu avec du bois; l'effet de cette coloration dut

1. Le nom de *cristal*, que nous employons pour désigner le verre à base de plomb, était donné dans l'antiquité et au moyen âge aux produits taillés et gravés en cristal de roche ou quart hyalin (silice pure cristallisée). C'était pour les verriers un type d'éclat et de blancheur qu'ils s'efforçaient d'imiter. Lorsque les Vénitiens parvinrent à obtenir un verre presque aussi beau d'aspect, ils s'empressèrent de le nommer *cristal de Venise* ou *verre cristallin*. Dans l'inventaire des ducs de Bourgogne (1467), on lit : « Ung voirre cristallin couvert, garny d'or » ; et dans celui de Gabrielle d'Estrées (1599) : « Un petit chaudron de cristallin de verre prisé xxx sous » et « un grand mirouer de cristal de Venise garni d'ebeyne, prisé la somme de 6 écus. ».

Le nom de cristal est encore donné dans les pays étrangers aux verres de luxe exempts de plomb.

être attribué à la houille, et les verriers cherchèrent par tous les moyens possibles à combattre cette influence colorante : c'est ainsi qu'ils arrivèrent sans doute à soustraire la matière en fusion au contact de la fumée de la houille en couvrant le creuset d'un dôme qui lui donnait la forme d'une cornue à col court; mais, en protégeant ainsi la matière en fusion, on s'aperçut aussitôt que cette matière ne subissait plus une température aussi élevée : il fallait prolonger la fonte et augmenter la dose du *fondant*, l'alcali; il en résultait une autre cause de coloration et un verre d'une moindre qualité. C'est ainsi qu'on fut amené à ajouter, au lieu d'alcali, un fondant métallique, *l'oxyde de plomb*, qui fut employé en aussi grande quantité qu'on le put, sans produire une coloration tirant au jaune : non-seulement on obvia aux inconvénients de la houille et du pot couvert, mais il en résulta le verre le plus blanc, le plus parfait qu'on eût jamais obtenu, auquel le cristal de la Bohême le plus beau ne peut être comparé... Ce fut sans doute vers la fin du XVIIe siècle que ce résultat fut produit; car, vers 1750, quand le célèbre opticien Dollond faisait ses premières expériences sur l'achromatisme, le *flint-glass* à base de plomb semblait être d'un usage courant pour les services de table. »

Tout en acceptant comme ingénieuse et comme vraisemblable cette explication de la découverte du cristal, j'ai eu occasion de faire remarquer[1] que le

1. Dans mon *Rapport sur les verres et les cristaux de l'Exposition universelle de Londres*, en 1851.

cristal anglais n'avait pas à beaucoup près, dans l'origine, la perfection et la blancheur que lui attribue M. Bontemps ; il ne les a acquises que progressivement : c'est ce qu'on peut constater en examinant au Conservatoire des arts et métiers des spécimens de la fabrication anglaise, rapportés d'Angleterre par M. Christian, il y environ cinquante ans ; ces cristaux sont sans éclat et d'une teinte noirâtre différente, il est vrai, mais presque aussi mauvaise que celle de nos verres communs. En remontant à une époque un peu plus éloignée, la fabrication anglaise était encore plus mauvaise. « Quelque florissantes que soient leurs verreries, dit Bosc d'Antic, les Anglais ne doivent pas se flatter, avec John Cary, qu'elles soient portées *à la plus haute perfection*. Leur cristal n'est pas d'une belle couleur ; il tire sur le jaune et sur le brun, pour peu que la couleur rouge de la *manganèse* domine. Il est si mal cuit qu'il ressue le sel, se crassit, se rouille promptement, est rempli de points et nébuleux. » (*Mémoire sur la verrerie*, qui a remporté, en 1760, le prix proposé par l'Académie royale des sciences : *Quels sont les moyens les plus propres à porter l'économie et la perfection dans les verreries de France ?*).

Ce n'est que lentement, et sous l'influence des perfectionnements apportés par la chimie à la purification de la potasse, au choix du sable et surtout du minium, que les cristaux anglais et français sont arrivés à devenir supérieurs aux plus beaux verres de Bohême, dont la teinte est toujours un peu jaunâtre et qui n'ont pas, d'ailleurs, à beaucoup près, à cause de leur faible densité, l'éclat du cristal.

La rareté du combustible végétal qui avait provoqué la fabrication du verre à base de plomb en Angleterre n'existant pas chez nous, ce ne fut qu'en 1784 qu'un four à cristal à pots couverts, d'après la méthode anglaise, fut établi à Saint-Cloud, près Paris, par M. Lambert; quelques années plus tard, cette usine était transportée à Montcenis, puis au Creuzot, sous le nom de *verrerie de la reine*: elle a cessé de travailler en 1827.

Vers la même époque, le cristal *fondu au bois et à pots découverts* était fabriqué dans la verrerie de Saint-Louis, dans le département de la Moselle que la guerre de 1870 nous a ravi. En 1787, le directeur de cette usine, M. de Beaufort, présentait à l'Académie des sciences différentes pièces à l'imitation du *flint-glass* des Anglais; un rapport de Macquer et de Fougeroux de Bondaroy, conservé dans les archives de cet établissement, constate la bonne qualité de ces produits. « On ne peut, disent en terminant ce rapport les savants académiciens, qu'encourager M. de Beaufort à suivre et à augmenter un objet de fabrication qui, probablement, procurera de l'avantage à notre commerce et pourra même devenir utile aux sciences. » Cette conclusion était, comme on voit, bien modeste et nullement compromettante pour l'Académie. Un verre à boire en cristal anglais valait alors 3 livres; la cristallerie le vendait 25 sous : il coûte aujourd'hui, en cristal beaucoup plus beau, 35 à 40 centimes.

Une autre cristallerie avait été fondée à Vonèche, près de Givet, par M. d'Artigues, en 1800. Cet éta-

blissement s'étant trouvé, par le traité de 1815, en dehors du territoire français, M. d'Artigues acheta à Baccarat la verrerie de Sainte-Anne, où l'on n'avait fait jusqu'alors que du verre à vitre et de la gobeleterie ordinaire, et transforma cet établissement en une cristallerie, qui passa en 1823 entre les mains d'une puissante Société : sous la direction successive de MM. Godard, de M. Toussaint, de M. Eug. de Fontenay, de M. Michaut, la cristallerie de Baccarat est devenue une usine modèle, non moins remarquable par l'importance de sa production, la perfection et l'extrême variété de ses produits que par le bien-être qu'elle assure à ses nombreux ouvriers.

D'autres cristalleries, moins importantes que celles de Baccarat et de Saint-Louis, ont été fondées en France depuis un demi-siècle; parmi elles nous devons mentionner celle de M. Monot, à Pantin, et celle de MM. Maës, à Clichy, qui, longtemps dirigée par M. Maës père et par M. Clemandot, a pris dans le commerce de la verrerie de luxe une place des plus distinguées.

COMPOSITION DU VERRE ET DU CRISTAL CHEZ LES ANCIENS.

Avant d'exposer les procédés qu'on emploie pour fabriquer les différents verres en usage pour la gobeleterie, il importe de rechercher quelle était la composition du verre que fabriquaient les anciens.

Cette étude n'a pas encore été tentée; les personnes qui se sont occupées de la verrerie antique

n'ont pas hésité à admettre que la matière première que mettaient en œuvre avec une incomparable habileté les verriers de l'antiquité, ne différait en rien de celle dont on fait usage aujourd'hui.

Telle n'est pas mon opinion. Le verre ordinaire, ainsi que le verre plombeux qu'on fabriquait autrefois, présentaient une composition notablement différente de celle des produits modernes. C'est ce que je me propose d'établir en m'appuyant tout à la fois sur les textes des anciens auteurs et sur l'analyse chimique des verres antiques.

Verre ordinaire. — Nous avons vu que le verre employé pour les objets si variés qui composent la gobeleterie est de nature différente, en raison de son prix et des habitudes des pays dans lesquels il est fabriqué; celui de notre gobeleterie ordinaire et demi-fine est formé de silice, de chaux et de soude : dans le verre de Bohême, la potasse remplace cette dernière base. Ainsi trois substances entrent toujours, comme éléments essentiels, dans la composition des verres modernes. Je ne parle, bien entendu, que des verres incolores.

Les anciens verriers procédaient autrement : D'après Pline, le sable et la soude entraient *seuls* dans la *composition;* « aujourd'hui on mêle du sable blanc avec 3 parties de nitre, soit au poids soit à la mesure, et, lorsque la matière est fondue, on la coule dans un autre fourneau; ou la refond une seconde fois et on obtient ainsi un verre pur et blanc. »

Bien des siècles plus tard, ces deux substances étaient encore employées d'une façon presque exclusive; l'alcali étant le natron des lacs salés d'Égypte, le salin des cendres du bois ou de végétaux marins tels que la soude d'Espagne ou la poudre de Rochette.

Quant à la chaux, qui est la troisième substance qu'on ajoute aujourd'hui à tous les verres (à l'exception du verre plombeux, *du cristal*), cette base ne se rencontrait dans le mélange vitrifiable que d'une façon accidentelle et, pour ainsi dire, inconsciente, apportée soit par le sable soit par le fondant alcalin plus ou moins purifié dont on faisait usage. La chaux, qui assure à la verrerie moderne son inaltérabilité relative, n'existe qu'en faible proportion dans les verres anciens qui sont venus jusqu'à nous; il est probable que ceux qui n'en renfermaient pas ont depuis longtemps disparu sous l'influence de l'action destructive des agents atmosphériques.

Néanmoins cette exclusion n'était pas absolue; car Pline parle de l'emploi de la chaux comme d'un progrès réalisé de son temps : « Depuis, dit-il, tant l'esprit de l'homme est inventif, on ne se contenta pas de mêler du nitre à la matière du verre, on y joignit aussi de la pierre magnétique...; pareillement on commença à y ajouter de petites pierres luisantes de toutes les espèces, ensuite des coquilles et des sables fossiles [1]. »

1. *Mox, ut est astuta et ingeniosa solertia, non fuit contenta nitrum miscuisse, cœptus addi et magnes lapis... Simili modo et calculi splendentes multifariam cœpti uti : deinde conchæ et fossiles arenæ* (*Nat. hist.*, lib. XXXVI, cap. xxvi).

En dehors de cette indication, la plupart des recettes qui nous ont été transmises ne parlent pas de la chaux introduite dans les *compositions*. Ainsi, dans les notes ajoutées à la traduction de l'*Histoire naturelle* de Pline (édition de 1772, t. XII), Guettard donne sur ces compositions les renseignements qui suivent :

« Alphonse Barbara, dans son *Traité de métallurgie,* recommande de mêler, pour faire le verre, deux parties de sable transparent ou de farine de pierre fondue au feu et une partie de nitre ou de sel de soude et un peu de pierre d'aimant; d'autres prennent deux parties de cendres et une partie de sable... On trouve les mêmes proportions dans le *Traité de métallurgie* de Perez de Végos... Par l'addition de la chaux, ajoute Guettard, on a un verre beaucoup plus parfait et moins fragile auquel on donne le nom de cristal, parce que, par sa beauté, il approche du cristal ordinaire ou fossile. »

Au XVIe siècle, et bien plus tard, on suivait encore les mêmes errements; dans son livre *De re metallicâ*, si curieux par l'exposé des procédés métallurgiques de son temps, Agricola donne comme il suit la manière de fabriquer le verre :

« On mélange deux parties de pierres fusibles pulvérisées avec une de nitre, de sel fossile ou de sel tiré des plantes; l'on y joint un peu *d'aimant*[1]; on pense de nos jours aussi bien qu'anciennement qu'il a la propriété d'attirer la couleur du verre de la même manière qu'il a celle d'attirer le fer,

1. L'oxyde de manganèse, dont les verriers se sont servis à toutes les époques comme décolorant, était autrefois confondu avec l'aimant (oxyde de fer magnétique). Ce corps est souvent désigné aussi sous le nom de *magnésie*.)

de le nettoyer et de le rendre blanc, de vert ou nébuleux qu'il était; le feu consume ensuite l'aimant[1]. »

Dans son traité de *l'Art de la verrerie*, publié à Florence en 1612, Antoine Neri insiste beaucoup sur la manière de tirer le sel de la poudre appelée Rochette ou Roquette; cette poudre, dit-il, est la cendre d'une plante qui croît abondamment en Syrie et dans le Levant; elle donne par le lessivage et par l'évaporation un sel plus blanc que la soude d'Espagne; celle-ci donne un cristal d'une couleur bleuâtre. 300 livres de cendre orientale donne 80 à 90 livres de sel qu'on emploie pour faire la fritte du cristal; il n'est pas question de la chaux.

D'après Kunckel, « il convient d'employer 200 livres de silice de la pierre à fusil et 140 à 150 livres de sel; on ajoute de la magnésie, ainsi nommée parce qu'elle ressemble par son poids et sa couleur à l'aimant, qui, en latin, s'appelle *magnes* ».

Il serait facile de multiplier ces citations. Néanmoins, dès cette époque, l'utilité de la chaux n'était pas absolument méconnue; car, dans un autre chapitre, Neri indique la composition suivante :

« 40 livres de potasse purifiée, 60 livres de sable, 5 livres de craie, pour donner plus de corps à la composition. »

Un verre de cette nature ne contiendrait, d'ailleurs, que 3 à 4 pour 100 de chaux.

Il m'a paru intéressant de déterminer, par l'ana-

1. Addition à la préface de Merret, tirée du livre XII d'Agricola, dans *l'Art de la verrerie*, d'Antoine Neri.

lyse chimique, la composition d'un certain nombre de verres antiques. Bien que l'âge et l'origine de ces échantillons, dont plusieurs néanmoins viennent d'Autun et sont probablement du IIe siècle, me soient, pour la plupart, inconnues, leur ancienneté, qui remonte certainement à une quinzaine de siècles, ne peut pas être mise en doute, le temps leur ayant fait subir des altérations que l'art ne saurait imiter.

Voici la composition de ces verres :

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Silice	66,7	66,0	67,4	70,9	69,4	69,4
Soude	19,8	24,2	24,5	17,0	20,3	20,7
Potasse	4,9					
Chaux	5,8	7,0	2,7	7,8	6,4	7,1
Alumine, oxydes de fer et de manganèse	2,8	3,0	5,4	4,5	2,9	2,8
	100,0	1,000	100,0	100,0	100,0	100,0

On voit que dans tous ces verres la proportion de chaux est minime ; elle est la moitié ou le tiers de celle qu'on rencontre aujourd'hui dans les verres à vitre, à glace, à gobeleterie, etc. Dans un fragment de vitre de Pompéi, M. Claudet avait aussi trouvé 7,2 de chaux. Pour les analyses qui précèdent, j'ai dû choisir de préférence des verres n'offrant pas une teinte irisée trop prononcée, celle-ci étant due à la séparation des éléments calcaires et terreux qui se concentrent, pour ainsi dire, à la surface du verre, en raison du départ des éléments alcalins.

J'ajouterai que le fait même de l'existence actuelle de ces verres témoigne en faveur de leur qualité

relative; car ceux qui étaient exclusivement fabriqués avec le salin et le sable ont dû disparaître depuis longtemps; ils appartenaient, en réalité, à la catégorie des *verres solubles* que Fuchs a découvert de nos jours, et qui, par leurs usages comme par leur fabrication, sont en dehors des produits de l'industrie verrière.

En me résumant, j'estime que la nature des verres n'était pas autrefois ce qu'elle est aujourd'hui. Dans les verres antiques qui sont venus jusqu'à nous, la chaux s'y rencontre en minime quantité; elle y est introduite soit comme un élément accessoire, comme l'oxyde de manganèse, soit par les matières premières, le sable et l'alcali, employés pour le fabriquer. Il n'y a pas bien longtemps, d'ailleurs, que le rôle de ce corps dans la vitrification est apprécié à sa juste valeur. Ainsi le verre à glace, que M. Dumas analysait il y a trente-cinq ans, ne contenait que 3,8 pour 100 de chaux; celui qu'on fabriquait en Angleterre, en 1851, n'en renfermait pas beaucoup plus, 4,7 et 6,9 pour 100. J'ai analysé récemment un verre de vitrage tellement altérable qu'on a dû le remplacer par un autre; il ne contenait que 3,6 pour 100 de chaux.

L'altération profonde que les verres autrefois subissaient sous l'influence de l'eau et des agents chimiques est établie par de nombreux témoignages: nous avons vu Bernard Palissy, dans un livre publié en 1563, attribuer à l'action des pluies la destruction d'un nombre infini de vitres des églises du Poitou et de la Bretagne, qui sont, dit-il, incisées par le dehors par l'injure du temps. Dans un livre qui fait

suite à *l'Art de la verrerie*, de Neri, il est question d'un sel coagulé qui s'est formé par le nettoyage au moyen de l'eau d'un récipient en verre qui avait servi à la distillation de l'acide fumant : « D'où je conclus, dit l'auteur, que ce n'est pas une chose si difficile de coaguler l'eau [1]. » Il est clair que cette gelée était de la silice provenant de la décomposition d'un verre de très-mauvaise qualité. Aujourd'hui que cette influence de la chaux sur la qualité est reconnue, tous les verres bien fabriqués en contiennent 12 à 15 pour 100 de leur poids. Cette proportion, à laquelle on est arrivé lentement et, pour ainsi dire, par tâtonnement, représente à peu près équivalents égaux de chaux et d'alcali ; elle établit entre l'ancienne verrerie et la verrerie contemporaine une ligne de démarcation qu'il m'a paru utile de mettre en lumière.

Verre plombeux. — Cristal. — A quelle époque remonte la découverte du verre à base de plomb, du cristal? Cette question a donné lieu à de nombreuses controverses : elle a généralement reçu de la part des archéologues et même des chimistes une solution qui, à mon humble avis, n'est pas fondée.

Il est établi par des documents irrécusables que les anciens introduisaient du plomb dans un certain nombre de leurs compositions vitreuses. On rencontre ce métal dans le verre *hématin;* il paraît établi

1. *Sol sine veste,* d'Orschall, p. 504.

que les imitations de pierres précieuses qu'on faisait du temps de Pline et aussi au moyen âge étaient fabriquées avec des matières riches en plomb.

Plusieurs chimistes ont, d'ailleurs, constaté la présence du plomb dans des verres dont la fabrication remonte à des temps très-anciens : parmi ces travaux, nous devons mentionner en première ligne celui de Fougeroux de Bondaroy, membre de l'Académie royale des sciences, publié dans les mémoires de cette Compagnie en 1787. Il s'agit de l'examen d'un verre désigné sous le nom de *miroir de Virgile.*

« Entre les raretés et les richesses de différentes espèces qui font partie du trésor de Saint-Denys, en France, on conservait une substance transparente, de forme ovale, longue de 14 pouces dans son plus grand diamètre, de 12 pouces dans son petit et épaisse d'un bon pouce, à laquelle on a laissé le nom vulgaire de *miroir de Virgile :* le poids total de ce morceau était d'environ 30 livres; sans prétendre fixer à ce verre une antiquité aussi reculée, l'on assure qu'il est depuis les premiers temps que ce trésor a été établi dans cette maison... »

« Le verre est homogène, d'un vert mêlé avec du jaune; il est poli sur les deux surfaces; mais les bords semblent n'avoir pas été usés et conserver l'empreinte du moule qui lui a donné la forme. 1 pouce cube pèse 1660 grains; le pouce cube du verre des volcans pèse 800 grains. »

Pour déterminer quel est le métal qui entre dans la composition de ce verre, l'auteur a mélangé cette matière, préalablement réduite en poudre très-fine,

avec du flux noir; à l'aide d'un feu très-violent, il a obtenu un culot de plomb malléable, dont la densité était égale à 11,24. Il estime que ce verre contient environ la moitié de son poids de terre vitrifiable, c'est-à-dire d'oxyde de plomb. Il ajoute :

« Je crois qu'il n'y a pas un siècle qu'on a commencé à se servir de chaux de plomb pour donner de la pesanteur aux cristaux; et certainement depuis ce temps, ce moyen est réservé comme secret dans les verreries. Les Anglois l'ont employé dans l'espèce de verre pesant qu'ils nomment *flint-glass*, qui, s'il était de bonne qualité, remplirait les désirs des astronomes et de tous ceux qui font usage des lunettes achromatiques; et à Paris, pour les verres appelés *strass*, du nom de leur inventeur. Si ce verre, dit de Virgile, est ancien, s'il est factice, on connaissait donc, il y a longtemps, le moyen de faire du verre lourd en ajoutant de la chaux de plomb aux verres de sable. »

Cette opinion serait parfaitement fondée si l'auteur, connaissant mieux la nature du cristal anglais, avait recherché et constaté dans le miroir de Virgile la présence de la potasse. La même observation s'applique à d'autres travaux qui, tout en mettant hors de doute l'existence du plomb dans divers échantillons de verres antiques, n'ont pas établi que la potasse ou la soude entrait aussi dans leur composition : ainsi M. Girardin a examiné un petit vase à parois fort épaisses, d'une pâte fine et blanche, trouvé en 1843 aux environs de Rouen dans un cercueil en pierre d'origine gallo-romaine; ce cercueil renfermait

d'autres verres plus grossiers, des médailles à l'effigie de Constantin le Grand, etc. M. Girardin a trouvé du plomb en proportion notable (qu'il n'a pas déterminée) avec une trace de cuivre; « maintenant, dit-il, il ne peut rester douteux que les anciens n'aient connu la fabrication du cristal ». Plus tard, en 1849, le même chimiste a trouvé également du plomb dans un fragment de verre blanc, provenant d'un cercueil d'enfant, trouvé dans un vaste cimetière gallo-romain que M. l'abbé Cochet avait découvert dans la propriété de MM. Souday frères, à Cany; un autre fragment blanc, transparent, de forme irrégulière et de la grosseur d'une aveline, trouvé dans le même cimetière, le confirme dans l'opinion qu'il avait émise antérieurement sur la fabrication du cristal chez les Romains[1].

La même réserve doit être faite en ce qui concerne l'examen fait par M. Chevreul, à la demande de M. Fillon, de divers objets d'archéologie trouvés dans le département de la Vendée : « Parmi les différentes substances vitreuses que renfermait le tombeau de saint Médard des Prés, il y avait un échantillon fort différent des verres de bouteilles par sa transparence et sa propriété incolore. Cet échantillon contenait de l'oxyde de plomb; il appartenait donc au verre plombeux appelé cristal et se distinguait par plus de densité et moins de dureté d'un ustensile de forme cylindrique façonné, dont une portion était

1. Girardin, *Mémoires de l'Académie des inscriptions et belles-lettres*, 1860; *Savants étrangers*, t. VI.

creusée en canal : cet ustensile était du véritable cristal de roche [1]. »

En fondant leur opinion sur ces importants témoignages, tous les archéologues admettent que les anciens connaissaient le cristal. Un passage du traité d'Éraclius ayant pour titre : *De coloribus et artibus Romanorum*, leur semble venir aussi à l'appui de la thèse qu'ils soutiennent. On ne connaît pas la date précise de cet écrit, mais le moine Théophile, dont l'ouvrage est du x[e] ou du xi[e] siècle, parle d'Éraclius; ce dernier cite Isidore de Séville qui vivait au vii[e] siècle; il faut, par conséquent, placer entre ces deux époques le traité d'Éraclius.

Voici le passage en question, d'après M. Bontemps, qui a donné, tout récemment, à la suite de l'excellente traduction du deuxième livre de l'essai sur divers arts de Théophile, celle de l'ouvrage d'Éraclius [2].

« *Du verre fait avec le plomb.* — Prenez du plomb neuf le plus pur; mettez-le dans un vase de terre neuf et calcinez-le jusqu'à ce qu'il soit réduit en poudre et laissez-le refroidir. Prenez ensuite du sable et mêlez-le avec la poudre de plomb dans la proportion de deux de plomb pour un de sable, et mettez le mélange dans un creuset éprouvé que vous placerez dans le four et ferez fondre, comme

1. Chevreul, *Mémoires de l'Académie des sciences*, t. XXII.

2. *Theophili presbyteri et monachi diversarium artium schedula liber secundus. Translatore Georgio Bontemps*; 1876.

nous l'avons indiqué précédemment, et vous brasserez souvent le verre jusqu'à ce qu'il soit bien fondu.

« Si vous voulez du verre vert, prenez de la limaille de bronze (*limaturam auricalci*) et ajoutez-la au plomb dans la proportion convenable. Si vous voulez en faire des vases, vous opérerez avec la canne, comme nous l'avons indiqué, et vous ferez refroidir, avec les précautions prescrites, toutes les pièces fabriquées dans le four de recuisson, où vous mettrez le creuset avec ce qui restait de verre vert. »

Ce produit n'est pas du cristal assurément : c'est un silicate simple de plomb qui peut d'ailleurs être moulé ou soufflé, en donnant des produits très-lourds, mais très-fragiles, contenant la moitié ou les deux tiers de leur poids d'oxyde de plomb ; le miroir de Virgile, les imitations de pierres précieuses faites par les anciens, du temps de Pline, et par les Juifs, au moyen âge, probablement aussi les produits vitreux de l'époque gallo-romaine étudiés par plusieurs chimistes, les flacons de petite dimension conservés dans divers musées, semblent avoir été fabriqués avec cette matière. On avait cru que dans les verres trouvés dans les catacombes, verres dont le fond est garni d'une feuille d'or découpée et gravée que recouvre une lame de verre, celle-ci était en cristal; mais M. Darcel n'a pas trouvé de plomb dans la couverte transparente qui protége la feuille d'or.

C'est probablement aussi de ce même verre, sans potasse, que parle Merret, médecin anglais, dans les notes ajoutées par lui à l'*Art de la verrerie* de Neri :

« le verre de plomb n'est pas en usage dans nos verreries d'Angleterre à cause de sa trop grande fragilité ». Ce produit, en même temps qu'il était très-fragile, devait être très-altérable et c'est aussi de lui qu'il est probablement question dans cette note de Merret : « Quercetanus assure avoir vu un anneau fait de verre de plomb, qui, trempé pendant une nuit dans du vin, lui donnait une qualité purgative sans jamais perdre cette propriété. » (*Art de la verrerie*, de Neri, p. 153.)

J'ajouterai que si, conformément aux indications d'Éraclius, le verre plombeux était fait avec du sable et de l'oxyde de plomb, il ne pouvait renfermer que ces deux corps : les formules des anciens pour le verre ordinaire ne mentionnent que deux substances servant à le fabriquer, le sable et l'alcali, bien qu'il en contienne toujours une troisième, la chaux; il ne peut en être de même pour le verre de plomb, attendu que ni le sable ni l'oxyde de plomb ne peuvent y introduire une substance auxiliaire, la potasse ou la soude, en notable proportion.

Ainsi, dans mon opinion, aucun texte, aucune analyse n'établit que le véritable cristal, le *flint-glass* des Anglais, fut connu des anciens. Je ne prétends pas, d'ailleurs, que son existence fut absolument ignorée lorsque les Anglais ont commencé à développer sa fabrication pour les objets usuels; on lit, en effet, dans l'*Art de la verrerie* de Néri, chapitre LXIII :

Manière de faire le verre de plomb. — Plomb calciné 15 livres :

fritte de cristal 12 livres. Après dix heures, la matière est fondue. On la jette dans l'eau, — on trouve souvent au fond du creuset du plomb réduit, — on le remet au feu et on le travaille au bout de dix heures. Il convient de mouiller le marbre et de n'en prendre que peu à la fois.

Mais cette indication est donnée au milieu d'une multitude de recettes et de procédés qui n'ont pas la moindre valeur; l'auteur ne lui attache aucune importance. Ce verre serait d'ailleurs plutôt du strass que du cristal; car il contiendrait au moins 60 pour 100 d'oxyde de plomb.

Il résulte de cette discussion que bien qu'on trouve dans les temps passés des indications sur les verres plombeux, c'est bien aux Anglais qu'on doit attribuer l'honneur d'avoir créé dans leur *flint-glass* un produit nouveau qui, par les progrés apportés à la qualité et au choix des matières premières servant à le fabriquer, est devenu sans conteste la plus belle matière vitreuse que nous connaissions et qu'il soit possible de produire.

FABRICATION DE LA GOBELETERIE A BASE DE SOUDE.

On fabrique en France deux sortes de gobeleterie: celle qui sert pour les verres communs et la gobeleterie fine ou *demi-cristal.* La première est bien loin d'être irréprochable sous le rapport de la blancheur du verre et de la régularité des formes: elle comprend les objets les plus ordinaires pour les usages de la campagne et du cabaret, ainsi que la *topeterie,* c'est-à-dire les fioles, les flacons et les autres articles de pharmacie, de parfumerie, etc. Le fondant alcalin

est toujours la soude, employé à l'état de carbonate (sel de soude) et plus souvent à l'état de sulfate.

D'après M. Godard-Desmaret, propriétaire de la verrerie de Trélon (Nord), cette fabrication a lieu dans soixante-dix usines; elle active une centaine de fours et occupe 20,000 ouvriers. La quantité de produits qu'elle livre au commerce, en France, s'élèverait à plus de 20 millions de francs; mais cette estimation, donnée dans l'enquête faite en 1860 à l'occasion du traité de commerce avec l'Angleterre, paraît être exagérée.

Les matières premières sont le sable, la chaux éteinte, le sulfate de soude ou le sel de soude. Ce dernier ne s'emploie que pour le verre fin, qu'on désigne aussi sous le nom de *demi-cristal.*

Pour une potée de 250 kilogrammes, on emploie à Trélon :

N° 1.	Sable	200 kilogr.
	Sel de soude	66 —
	Chaux	50 —

On brûle 4 stères de bois pesant 1,540 kilogrammes. Le prix de revient, pour les matières premières et le combustible, est de 50 fr. 32 c. les 100 kilogrammes de produit marchand.

Voici d'autres compositions :

N° 2.	Sable de Fontainebleau	300 kilogr.
	Sel de soude à 75-78 degrés	95 —
	Craie	75 —
	Nitre brut	8 —
	Bioxyde de manganèse	1k,10

La fonte se fait en treize heures. On consomme un poids de houille à peu près égal à celui du verre propre au travail.

N° 3. Sable	300	kilogr.
Sulfate de soude	170	—
Chaux éteinte	75	—
Charbon, pilé	10	—

La verrerie de Vallerysthal, qui, la première en France, s'est livrée à la fabrication du demi-cristal, employait la composition suivante :

N° 4. Sable de Champagne bien lavé	300	parties.
Soude purifiée et hydratée, de 55 à 60 degrés	130	—
Chaux éteinte	50	—

On ajoute quelquefois à la composition quelques centièmes de minium qui donne au verre de la fusibilité et de l'éclat. C'est ce que font souvent aussi les verriers de la Bohême.

Le mélange n° 1 donne un produit ayant à très-peu près la composition du verre à glace ou à vitre ; soit :

Silice	73,3
Soude	14,0
Chaux	12,7
	100,0

Celui n° 4 fournit un verre contenant plus d'alcali, soit 17.0 pour 100.

La gobeleterie fine ou demi-cristal exige l'emploi de matières premières soigneusement raffinées ; la

potasse, si elle était d'un prix moins élevée, serait assurément préférable pour obtenir du beau verre fin ; mais le carbonate de soude, qui est moins cher, convenablement purifié et hydraté, est généralement employé.

Le verre à gobeleterie fine, lorsqu'il est fondu à la houille, exige, comme le cristal, l'emploi des pots couverts. Les procédés de fabrication sont ceux que nous allons donner pour le verre de Bohême et pour le cristal.

VERRE DE BOHÊME.

Des conditions privilégiées ont donné à la fabrication du verre en Autriche un large développement.

Favorisée par une expérience déjà très-ancienne dans cette branche de fabrication, par l'abondance et la pureté des matières premières, par le bas prix de la main-d'œuvre, la Bohême a été longtemps en possession d'une supériorité que, sous plusieurs rapports, nul autre pays ne pouvait lui contester.

La plupart des verreries de la Bohême sont situées au milieu des grandes forêts de sapins qui alimentent leurs fours et qui sont la cause principale de leur existence. L'aspect de ces établissements est misérable ; presque tous sont construits en bois. La plupart appartiennent au seigneur qui possède tout le pays et qui, ordinairement, s'est chargé de leur construction, qui ne coûte pas au delà de 40 à 50,000 francs pour une verrerie à deux fours, avec

ses dépendances. Il loue son usine à bail pour un temps plus ou moins long, en assurant à son fermier le combustible à un prix déterminé d'avance pour toute la durée du bail.

Quand la verrerie a dévoré le bois qui se trouve autour d'elle, elle se transporte dans une autre partie de la forêt, où elle reste jusqu'à ce que son aliment journalier cesse de nouveau de se trouver à sa portée.

Le bas prix du combustible est la cause première de la fabrication du verre en Bohême. Fabriquer du verre est, pour le propriétaire, l'unique manière d'exploiter ses forêts. Dans l'Amérique du Nord, en Hongrie, en Toscane, on tire parti du bois en l'incinérant pour en extraire la potasse; en Bohême, on l'exploite pour faire du verre. Dans ce pays, le stère de bois de sapin, rendu à la fabrique, vaut, en moyenne, 1 fr. 50 cent. En France, il coûte 8 à 9 fr. dans les établissements placés dans les meilleures conditions.

Ces forêts donnent également de la potasse à très-bon marché. Le verrier ramasse à proximité de ses fours du quartz hyalin de très-belle qualité, et un calcaire saccharoïde qui, par la cuisson, lui fournit d'excellente chaux. Ce sont les éléments du verre de Bohême : on ne fabrique qu'accidentellement, et dans un très-petit nombre d'établissements, le cristal à base de plomb. Si l'on ajoute à ces conditions favorables le prix de la main-d'œuvre, qui est trois à quatre fois moins élevé dans ce pays qu'en France, en Belgique et en Angleterre, on com-

prendra l'importance que cette industrie a acquise dans cette contrée, sans que cette importance témoigne beaucoup en faveur de l'opulence du propriétaire, de l'aisance de ses fermiers, et surtout du bien-être de la population ouvrière du pays.

L'organisation de l'industrie du verre, en Allemagne, diffère beaucoup de ce qu'elle est en France. Tandis que chez nous elle est concentrée dans un petit nombre de manufactures, dans la monarchie autrichienne, elle se trouve disséminée dans 350 à 400 établissements, dont la moitié environ sont situés en Bohême; on compte dans ce dernier pays un grand nombre de *raffineries de verre*, dans lesquelles le verre qui provient d'usines situées au milieu des forêts, dans des localités isolées, est transporté à l'état brut dans des centres de population dans lesquelles il reçoit la taille, la gravure, la dorure et les ornements si variés qui caractérisent les verres de Bohême. On peut dire qu'en Autriche la fabrication du verre est une dépendance de l'industrie agricole, comme est chez nous, dans le Nord, la fabrication du sucre et celle de l'alcool.

On peut diviser en trois classes les verreries de la Bohême; dans quelques-unes, tout le travail se fait dans l'usine; ce sont les moins nombreuses. Le plus grand nombre ne font que du *brut*, leurs produits soufflés ou moulés étant livrés aux *raffineries*. L'ornementation des verres de luxe se fait surtout dans les environs de Steinschönau et de Haïda. Il existait déjà des verreries dans ces localités dans la première moitié du XV[e] siècle; mais le bois étant

devenu rare, ces établissements durent s'enfoncer plus profondément dans la montagne, tandis que les raffineries restèrent sur les plateaux, dans des lieux plus accessibles, ce qui permettait aux ouvriers de se livrer en même temps à la culture de la terre et à l'élève du bétail. Le débit des marchandises allant en augmentant, on construisit de nouveaux moulins pour la taille et de nouveaux ateliers pour le décor : c'est ainsi que s'accomplit la séparation de ces deux branches de la même industrie, désormais indépendantes l'une de l'autre dans presque toute la Bohême.

Les raffineries sont alimentées par des marchands ambulants qui achètent dans les petites verreries des produits bruts; ceux-ci, après avoir été triés et classés dans les dépôts, sont dirigés vers les ateliers de taille, de gravure et de décoration. Les articles de fantaisie se font ainsi à très-bas prix et en très-grande quantité; ils donnent lieu à une exportation considérable sur les marchés d'au delà des mers, notamment sur les côtes d'Afrique, dont les peuplades, sauvages ou non, conservent un goût très-vif pour les verres et les verroteries de toutes sortes[1].

1. D'après les documents sur la Bohême publiés à l'occasion de l'Exposition de Vienne de 1873, par le Dr Hallwich, documents cités par M. Lobmayr, il existe dans les cercles de Steinschönau et de Haïda des raffineries de verre qui se sont étendues, avec le temps, dans trente endroits, villes ou villages, comprenant 2,382 entreprises industrielles pour le polissage, la peinture, la dorure, le brunissage, etc.; on compte, en outre, 8,200 ouvriers travaillant en chambre, en dehors de tous rapports directs avec ces établissements. La valeur annuelle de ces raffineries serait de 40 mil-

Les diverses sortes de verres fabriqués en Autriche sont évaluées à plus de 60 millions de francs. En 1852, l'exportation de la gobeleterie fine et commune était de 16 millions de francs. En 1873, elle s'est élevée à 22 millions de francs.

lions de francs. Ce chiffre paraît exagéré. Le même auteur ajoute que l'industrie des petits objets en verre présente aussi une importance réelle ; elle s'exerce surtout dans le nord de la Bohême, dans les cercles de Gablonz, Tannwald et Morhchensten. On y rencontre 9 verreries, dont plusieurs font usage de fours à gaz ; 67 fabriques de composition de verre, produisant des barres ou des tubes pour les souffleurs ; 250 fabriques de pressage ; plus de 400 moulins à polir ; une quantité de tours, mus avec le pied, pour polir les perles, les boutons, etc. ; 160 filatures de verre ; 100 souffleurs de perles ; 250 ouffleries plus grandes pour les objets de passementerie, aujourd'hui fort employés ; 120 fabriques pour colorer les verres pour perles, pour imitations de fruits, etc. 180 maisons de commerce exportent ces produits dans le monde entier. En résumé, cette fabrication occupe 10,000 ouvriers au moins et 30,000 personnes y trouvent leurs moyens d'existence. La valeur de ces produits est évaluée de 7 à 8 millions de francs.

Pour donner une idée de la quantité de ces objets de fantaisie qu'on fabrique en Bohême, nous citerons une des spécialités, celle des *verres à double enveloppe, avec argenture intérieure*. Ces verres, comme nous l'avons vu, se font à très-bon marché ; fabriqués avec du verre jaune, ils ont la couleur et l'éclat de l'or ; ils sont le plus souvent ornés de décors mats ou de pièces émaillées. Pour cette seule fabrication, d'après le Dr Hallwich, un raffineur de Haïda occupe 200 ouvriers ; en 1872, il a produit pour une valeur de plus de 400,000 francs de ces verres, expédiés presque tous en Angleterre, en Amérique et en Australie.

Le gouvernement encourage, par tous les moyens possibles, l'industrie des populations de la Bohême. Des musées, des cours de dessin, ont été ouverts en divers lieux ; une école pratique a été fondée, en 1857, à Steinshönau. Une bonne part des progrès réalisés doit être attribuée à la sollicitude du gouvernement pour cette industrie.

Le verre de Bohême rivalise avec le cristal pour le mérite de sa fabrication, et avec la gobeleterie commune pour le bon marché. Il a beaucoup de dureté et d'éclat; il reçoit par la taille un très-beau poli; il est très-bien fondu, remarquable par son homogénéité et son parfait affinage.

Sa teinte est habituellement légèrement jaunâtre, malgré les soins qu'apportent les Bohêmes à exclure de leurs matières premières les divers oxydes colorants qu'elles peuvent contenir. Quelques marchands du pays croient qu'il a la faculté de prendre une teinte jaune plus marquée à l'air ou à la lumière; ce qui les conduit à conserver leurs verres soigneusement enveloppés dans des armoires obscures. La réalité de cette coloration est contestée par d'autres.

En raison de la proportion considérable de silice qu'ils renferment, les verres de Bohême sont fabriqués à une température très-élevée; comme ils sont difficilement fusibles, ils se prêtent mieux que tous les autres à recevoir des décors au feu de moufle. Ils résistent parfaitement à l'action des agents chimiques. Ces verres, pour les laboratoires de chimie, sont d'une qualité très-supérieure à celle des verres pour les mêmes usages qu'on fabrique chez nous. Nous n'avons pas pu obtenir encore de nos verriers qu'ils fissent couramment pour nos laboratoires des ustensiles, notamment des tubes pour les analyses organiques, d'une qualité équivalente à celle des verres allemands.

Les Bohêmes excellent dans la fabrication des verres colorés dans la masse; la plupart des couleurs

actuellement en usage en France ont été découvertes par eux. Le prix de leurs verres de couleur n'est souvent pas plus élevé que celui des verres blancs. Ils excellent surtout pour la gravure. Presque tous les bons graveurs employés dans nos verreries viennent de la Bohême.

Composition des verres de Bohême. — Les verres blancs présentent en général, d'après nos analyses, la composition suivante :

	1.	2.	3.
Silice	77	76	75
Potasse	14	16	13
Chaux	8	7	9
Alumine et oxyde de fer	1	1	3
	100	100	100

1. Échantillon que j'ai rapporté en 1845 de la verrerie de Winterborg, en Bohême.
2. Échantillon provenant d'une autre fabrique.
3. Verre rapporté en 1837, par M. Brongniart.

Il est évident que ces verres ont été fabriqués avec des matières employées sensiblement dans les mêmes proportions.

En supposant que les matières premières soient pures, les proportions de la *composition* seraient à peu près les suivantes :

100 parties quartz pulvérisé.
13 à 15 parties de chaux éteinte.
28 à 32 — de carbonate de potasse.

Cette composition se rapproche beaucoup de la

suivante, qui m'a été communiquée dans une des verreries situées aux environs de Gratzen, en Bohême :

100	parties	de quartz pulvérisé.
17	—	de chaux éteinte.
32	—	de carbonate de potasse.
1	—	d'oxyde de manganèse.
3	—	d'arsenic blanc.

Groisil ou débris de verre, le tiers ou la moitié du poids de la composition.

Quelquefois les Bohêmes ajoutent à ce mélange quelques centièmes de minium, de salpêtre et de borax.

Ces compositions sont celles des objets de gobeleterie; pour les verres de fantaisie, les perles, les boutons, etc., les Bohêmes fabriquent des verres fusibles à une température beaucoup moins élevée.

Fours de fusion. — Ces fours sont de petite dimension; leur voûte est ordinairement construite d'une seule pièce, en argile damée. Ils sont elliptiques, et leur flamme, après avoir circulé librement autour des pots qui sont au nombre de sept à huit, se dégage dans un second four rectangulaire destiné à la recuisson des pièces, à celle de la chaux, ou bien à chauffer le quartz, qu'on *étone* pour le rendre friable (fig. 61). Dans beaucoup de verreries, la chaleur perdue se dirige, en sortant de cette arche, dans deux caisses fermées par des portes en tôle, qui reçoivent le bois à dessécher, lequel est placé sur un

châssis tournant qui rend plus facile son introduction et sa sortie de l'étuve, quand il est sec. Souvent le bois est simplement empilé et desséché sur la plate-forme du four à recuire les pièces.

Les pots ou creusets reposent sur un siége en terre réfractaire; le foyer est en contre-bas du sol; on y arrive par une voûte souterraine. Souvent le four

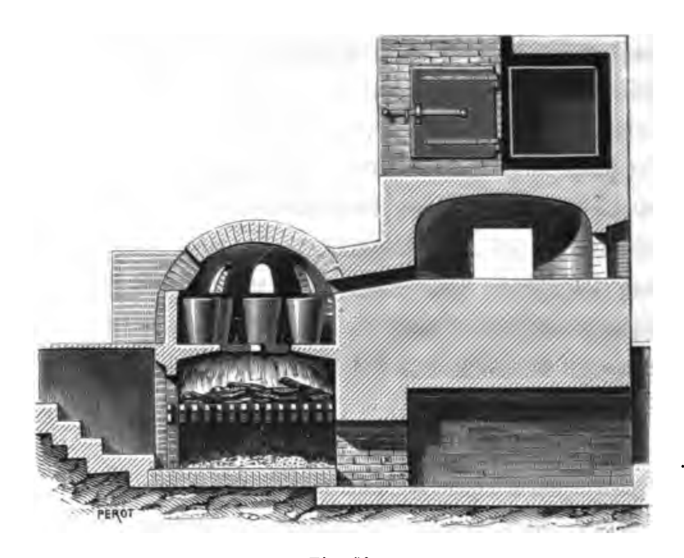


Fig. 61.

a deux foyers, dans lesquels on brûle des bûches de sapin de $1^m,30$ de longueur; il a ordinairement 2 mètres sur $1^m,50$ de diamètres intérieurs. La plupart des verreries ont deux fours, dont l'un est en activité et l'autre en reconstruction.

Les pots sont de petite dimension; ils ne reçoivent chacun que 60 à 80 kilogr. de composition dont la fusion exige au moins dix-huit heures d'un

feu très-vif. Le travail du verre fondu se fait en douze heures. La verrerie fait cinq *travaux* par semaine.

En France, la fabrication du cristal, dont les produits sont similaires par leurs usages et leur fabrication, repose sur des conditions bien meilleures sous le rapport de l'emploi du temps. Un four à cristal reçoit huit creusets, et chaque creuset fournit 125 à 150 kilogrammes de matière fabriquée. La fonte ne durant que douze heures, la cristallerie fait six travaux par semaine. Aussi, tandis qu'un four de Bohême ne produit par semaine que 1,000 kilogr. de verre marchand, un four français en produit 6 à 7,000 kilogr.

Les Bohêmes économisent le verre avec une habileté surprenante. Pour le cueillir, une canne, ordinairement très-légère, est introduite dans le creuset par l'ouvreau, devant lequel se trouve le creuset qui sert au travail de l'*atelier*. Chaque atelier ne se compose que d'un souffleur et de son aide. L'outillage en est des plus simples. Plusieurs cannes et tiges de fer pleines; une auge contenant de l'eau pour refroidir le verre, avec une sorte de crochet fixé à l'une de ses parois; une plaque de fonte (*marbre* ou *madre*) qui sert à parer le verre; une autre auge qui en reçoit les débris; une palette en bois dont une surface est concave et qui, étant mouillée, sert à arrondir le verre; de grossiers ciseaux à longues branches, destinés à découper les bords des pièces façonnées; quelques pinces et compas en fer ou en bois : tels sont, avec les moules en bois, en métal ou

en terre, les outils qui, dans les verreries de Bohême comme dans les cristalleries, servent à façonner tous les objets de gobeleterie aussi variés par leurs formes que par leurs usages.

Le verre étant cueilli et paré, le souffleur forme d'abord une boule épaisse qu'il arrondit, puis qu'il allonge, en promenant à sa surface un morceau de bois mouillé, pendant qu'il imprime à sa canne un lent mouvement de rotation. Il réchauffe sa pièce, puis il l'introduit dans un moule creux en bois, à deux compartiments séparés, que l'aide rapproche aussitôt; il souffle fortement et donne ainsi à la pièce sa forme et sa dimension. L'emploi des moules en bois, qu'on doit aux Bohêmes, est aujourd'hui répandu dans toutes les verreries. Ils ont le grand avantage de ne pas rayer le verre. On les remplace quelquefois par des moules en fonte ou en terre, qui s'usent moins rapidement. Quand on se sert de ces derniers, on les saupoudre intérieurement de résine en poudre, laquelle produit, en s'enflammant, une couche de charbon et une atmosphère de gaz qui neutralisent l'effet que produiraient les petites aspérités du moule; ou bien on les revêt d'une couche d'huile très-mince à laquelle on fait adhérer, au moyen d'un tamis, de la sciure de bois.

Pour faire, par exemple, une chope à bière, la pièce, en sortant du moule en bois à deux compartiments, présente la forme A (fig. 62). En refroidissant avec un fer le mors de la canne à laquelle elle adhère, celle-ci se trouve séparée. On enlève la calotte du verre en le tournant pendant quelques instants, sui-

vant la même ligne, sur une barre épaisse de fer rougi B; l'ouvrier touche alors avec son doigt mouillé l'un des points chauffés; il se produit une fente circulaire qui amène la chute de la calotte supérieure.

La chope est recuite et ses bords sont usés à la roue de tailleur. Ces bords sont l'un des caractères particuliers aux verres de Bohême; ils sont à arêtes vives, moins solides que ceux qui sont arrondis au

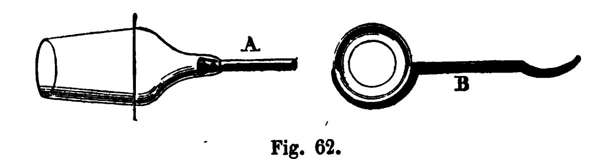


Fig. 62.

feu, ainsi qu'on le fait dans la plupart de nos verreries[1]; mais cette manière de travailler, qui dispense d'*empontir* les pièces, économise tellement la matière vitreuse, qu'on assure que le verre qui n'entre pas dans les pièces de gobeleterie ne représente que le quart du verre fondu, tandis que, pour le cristal qu'on emportit, il s'élève à la moitié au moins de la matière mise en œuvre. Ce groisil sert, comme on sait, pour les fontes ultérieures, qu'il rend plus faciles.

On vient de voir combien la fabrication de la Bohême est divisée. Chaque établissement ne produisant qu'une petite quantité d'objets fabriqués, ses

1. Nous verrons que ce mode de travail est aujourd'hui adopté par nos cristalleries qui l'ont beaucoup perfectionné.

frais généraux sont nécessairement plus élevés que ceux des vastes établissements qui tiennent la tête de l'industrie verrière en France. Les avantages qui permettent aux Bohêmes de produire le verre à bas prix expliquent, sans la justifier, la prohibition qui, pendant soixante-dix ans, a écarté de notre marché les verres allemands.

En nous résumant, bien que la gobeleterie de la Bohême soit celle qui a le plus de réputation comme présentant tout à la fois blancheur du verre, finesse et bon marché, les conditions de cette fabrication, au point de vue des principes économiques, sont loin d'être bonnes ; en produisant le verre dans des pots de très-petite dimension ne renfermant pas au delà de 60 à 80 kilogrammes de matières de composition qui exigent au moins dix-huit heures pour la fonte, il est difficile d'admettre, malgré le bas prix des matières premières et du combustible, malgré le bon marché de la main-d'œuvre et bien que les frais généraux soient peu considérables, que le travail soit bien rémunérateur pour le fabricant. Aussi, bien que la fabrication du verre y soit ancienne et fort développée, l'aisance n'a pas pénétré dans le pays, ainsi que cela arrive dans les contrées dans lesquelles règne une grande industrie.

Les verreries de la Bohême sont celles qui les premières se sont livrées à la fabrication des verres colorés, soit dans la masse soit en doublé, soit en peinture ; la dureté de leur verre se prête parfaitement à la décoration au moyen de couleurs de moufle ; mais les verreries françaises ont fait depuis quelques

années de très-grands progrès dans ce genre de fabrication, inaugurée en 1837 par M. de Fontenay, à Villerysthal. On peut donc affirmer que la France n'a plus rien à redouter de la concurrence de la Bohême et que la prohibition des verres allemands n'a plus de raison d'être aujourd'hui.

Cristal.

Nous avons vu que le *cristal* est un verre composé de silice, d'oxyde de plomb et de potasse : c'est le *flint-glass* des Anglais ; chez nous, ce dernier nom est réservé pour le verre plus dense, plus chargé de plomb dont on fait usage pour les instruments d'optique.

La présence du plomb dans le verre rend, d'une part, la composition plus fusible, et d'autre part donne au produit vitreux un pouvoir réfringent beaucoup plus considérable; elle lui donne en outre une sonorité particulière qui permet facilement de le distinguer d'avec celui qui n'en renferme pas.

Le degré de pureté des trois matières premières dont on fait usage présente, au point de vue de la qualité du cristal, une si grande importance qu'il est nécessaire d'entrer dans quelques détails sur le choix, la préparation de ces matières et sur les moyens de les purifier.

Silice. — On emploie en France les sables blancs les plus purs, notamment ceux de Fontainebleau, de Senlis, de Nemours, ou des environs d'Épernay, en

Champagne. Ces sables sont lavés dans de grandes bâches en bois; en les agitant avec un râble, on entraîne par le courant d'eau les parties les plus légères qui sont calcaires, argileuses, ferrugineuses, et qui renferment souvent aussi des détritus organiques; on les sèche ensuite dans des fours ou dans de grandes chambres dans lesquelles circule un courant d'air chaud : leur dessiccation doit être complète.

Pour les cristaux ordinaires, ce lavage préalable n'est pas utile : pour les plus fins, il est quelquefois précédé d'un traitement par l'acide muriatique ou par l'acide sulfurique dilué. En Angleterre, les sables du pays sont trop ferrugineux pour fournir du beau cristal, sauf ceux qu'on fait venir de l'île de Wight; comme ces derniers sont encore d'une qualité inférieure aux nôtres, les fabricants anglais en font venir de France et même des États-Unis d'Amérique. Le prix de revient du cristal se trouve augmenté d'une manière notable; mais les cristaux de luxe ont en Angleterre une clientèle riche qui n'existe pas chez nous; nous avons vu aux Expositions de Londres de belles carafes d'une taille courante qui se vendent 50 à 70 francs la pièce.

Potasse. — Cette substance est employée sous forme de carbonate (potasse du commerce), aussi exempte que possible de sulfate, de chlorure, de sels de soude, de fer et de matières organiques. Quelquefois une partie de la potasse (10 à 20 pour 100) est remplacée par du nitre; ce sel, qui donne du verre très-beau, ne peut pas être employé en quantité con-

sidérable, d'abord à cause de son prix élevé, ensuite parce qu'il attaque et ronge rapidement les creusets.

Les Anglais emploient exclusivement les *potasses d'Amérique* qui proviennent des bois fournis par le défrichement des forêts de l'Amérique du Nord. La *potasse perlasse* est le résultat d'un premier traitement des cendres sur les lieux. En Angleterre, elle est purifiée par les fabricants de produits chimiques qui livrent aux verriers cette matière à l'état de pureté.

En France, on se sert simultanément des potasses exotiques (d'Amérique, de Toscane, d'Allemagne) et des potasses indigènes : celles-ci proviennent des résidus de la fabrication du sucre de betterave, c'est-à-dire de l'évaporation et de la calcination du liquide qui provient lui-même de la distillation de la mélasse. Ce résidu lessivé fournit le *salin* qu'on soumet à son tour à une purification soignée pour en extraire les substances étrangères, notamment les sels de soude qu'il renferme en assez grande quantité. La potasse ainsi purifiée et la potasse exotique sont soumises à une nouvelle purification dans nos grandes cristalleries. On la dissout dans l'eau de manière à obtenir une liqueur marquant 32 ou 33 degrés du pèse-lessive ; il reste encore dans le liquide une petite quantité de sulfate de potasse qui entre dans la composition du cristal ; ce sel, en s'évaporant, aide, paraît-il, à la formation du cristal. Les matières légères, qui viennent à la surface, sont enlevées au moyen d'une écumoire, et le liquide, devenu bien clair par le repos, est évaporé dans une chaudière ; le résidu ne doit pas être trop desséché ; la potasse,

légèrement hydratée, doit titrer 55 à 56 degrés.

La potasse indigène, bien qu'étant celle qu'on emploie le plus dans les cristalleries françaises, est inférieure à la potasse exotique, après qu'elles ont été l'une et l'autre soumises à la purification : elle renferme encore quelques centièmes de carbonate de soude, habituellement 4 à 5 pour 100, qui nuit à la blancheur et à l'éclat du cristal. Dans un travail récent, j'ai montré, en outre, que certaines potasses indigènes contiennent encore, après qu'elles ont été raffinées, quelques centièmes de phosphate qui est une cause de perturbation pour les fabricants de cristaux et qui donne à leurs produits une opalescence comparable à celle qu'ils obtiennent au moyen du phosphate de chaux des os.

Minium.—Le choix des plombs qui doivent fournir le minium est également très-important. On doit écarter avec le plus grand soin les plombs qui renferment du cuivre, du fer, et même de l'argent. Ces derniers, du reste, ne se rencontrent plus guère dans le commerce. La présence du zinc et de l'antimoine est peu nuisible.

L'analyse chimique est le seul moyen de connaître la composition exacte du minium dont on veut faire usage. Mais cette analyse est assez délicate.

Dans les grandes cristalleries, le minium est fabriqué dans l'usine ; celles qui n'ont pas la possibilité de faire examiner les produits qu'elles emploient dans un laboratoire attenant à l'usine, doivent réclamer, pour chaque livraison, le concours

d'un chimiste expérimenté; c'est surtout pour ce genre de produit que la vente avec le degré de pureté et la composition garantis sur facture est indispensable.

Les plombs les plus propres à la fabrication du minium viennent d'Espagne; ceux de quelques marques d'Allemagne sont également recherchés. Les plombs d'Espagne doivent être de première fusion. Le grillage de la galène (sulfure de plomb), qui sert à préparer le métal, transforme une partie du sulfure en sulfate; le grillage terminé, un coup de feu donne le plomb par la décomposition mutuelle de ces deux corps : la température n'est pas assez élevée pour attaquer les gangues. Aussi le fer n'est pas entraîné; il reste en totalité dans les gangues et dans les scories; mais le plomb n'est pas exempt de cuivre, et il est essentiel de l'essayer au point de vue de l'existence de ce dernier métal.

Les plombs d'Angleterre, de Belgique et d'Allemagne sont fabriqués dans des fours à manche, à une haute température à laquelle les gangues sont attaquées. Aussi le plomb entraîne avec lui non-seulement le cuivre, mais aussi le fer. Ils doivent être raffinés avec grand soin lorsqu'ils sont destinés à fournir le minium pour les cristalleries.

Pour fabriquer le minium, on fond le plomb dans un four à réverbère, à sole légèrement creusée; en écrémant la surface du bain métallique avec un râble en fer, on enlève les corps, métalliques et autres, les plus réfractaires à l'oxydation. On agite ensuite, d'une manière continue, le métal fondu

avec un râble, et on rejette sur les côtés du four les parties oxydées au fur et à mesure de leur production. Cette opération est continuée jusqu'à ce que tout le métal soit transformé en oxyde. Lorsqu'on opère sur des plombs cuivreux et argentifères, on retire du four les dernières portions du bain métallique ; ce sont elles qui renferment ces métaux, qui sont moins oxydables que le plomb. Ces fonds de bains, auxquels on ajoute les écrémures, traités à part, fournissent du minium pour la peinture à l'huile ou pour faire des cristaux communs ou colorés.

Lorsque la plus grande partie du plomb est oxydée, avec la couleur jaune verdâtre qui appartient au protoxyde de ce métal, la matière est retirée du four et on la laisse refroidir dans des bassins en tôle ou en fonte ; elle renferme toujours une certaine quantité de plomb métallique qu'il faut séparer d'avec le protoxyde (massicot). On arrive à ce résultat en soumettant cette matière au lavage et à la décantation ; dans ce but, on fait usage d'une sorte de patouillet composé d'une série de tonneaux ouverts à leur partie supérieure, et dans lesquels se meut verticalement un axe en fer muni de palettes. Les tonneaux communiquent entre eux par une ouverture percée aux deux tiers de la hauteur. Dans le premier tonneau, un robinet amène de l'eau en quantité suffisante, et les palettes étant mises en mouvement par un moyen mécanique, le massicot, qu'on fait arriver lentement comme dans un moulin, se trouve délayé et forme une boue claire dont les parties lourdes, contenant le plomb métallique, se

précipitent au fond, tandis que le massicot proprement dit, qui est plus léger, passe dans un second tonneau, puis dans un troisième, et au besoin dans un quatrième; l'oxyde en suspension dans l'eau se rend ensuite dans une grande caisse munie de compartiments qui correspondent entre eux par une échancrure faite à la partie supérieure; il se dépose dans chacun de ces compartiments, sous forme d'une bouillie d'autant plus fine que le compartiment est plus éloigné : les derniers ne contiennent que de l'oxyde, parfaitement dépouillé de toute parcelle métallique, qu'on recueille sous forme d'une bouillie onctueuse; introduite dans de petites caisses en tôle, elle est chauffée modérément dans un four à réverbère dont l'atmosphère est convenablement aérée : au bout de vingt-quatre à trente-six heures, le massicot est transformé en minium ; écrasé et passé au bluttoir, cet oxyde est conservé pour être introduit en dose convenable dans les *compositions*.

Le minium que les fabricants de cristaux ne font pas eux-mêmes doit être examiné par eux au point de vue du cuivre qu'il peut renfermer. L'essai peut en être fait d'une façon sommaire en mettant à profit la propriété que possède l'oxyde de cuivre de donner avec l'ammoniaque une coloration bleue : celle-ci est d'autant plus intense que l'oxyde de cuivre est plus abondant. Un poids déterminé du minium à essayer est introduit dans un flacon, soit, par exemple, 50 grammes. On y ajoute une quantité mesurée d'ammoniaque concentré, soit 50 centimètres cubes. On bouche le flacon dont la capacité

doit être d'environ 200 centimètres cubes et on l'agite de temps à autre. Au bout de quelques jours, la coloration bleue qui s'est produite indique l'existence du cuivre. En employant comparativement les mêmes quantités de matières et des flacons bouchés à l'émeri de même capacité et de même diamètre, on apprécie avec une approximation suffisante, la quantité de cuivre contenue dans le minium soumis à cette épreuve. La litharge, que quelques cristalleries emploient pour les cristaux communs, peut être essayée de la même façon.

Lorsque le minium ou la litharge donnent une teinte bleue bien accentuée, il convient de les rejeter pour la fabrication du cristal blanc; mais on peut s'en servir pour les verres de couleur.

L'essai rapide des oxydes de plomb au point de vue de leur teneur en fer est moins simple et moins facile; on y arrive néanmoins en ajoutant à leur dissolution dans l'acide azotique quelques gouttes de sulfocyanure de potassium, qui donne avec les sels de fer une coloration rouge.

Pour dissoudre entièrement le minium, sans produire le précipité de peroxyde de plomb (oxyde puce), qu'on obtient quand on traite ce corps par l'acide azotique, il suffit d'ajouter à la liqueur chaude un peu de sirop de sucre : on reconnaît ainsi, en même temps, si le minium n'a pas été fraudé avec d'autres substances rouges, comme le colcotar ou la brique pilée; c'est, d'ailleurs, une fraude grossière que ne pratiquent pas les fabricants de minium qui ont la clientèle des cristalleries.

Le cristal étant une combinaison de silice avec la potasse et le protoxyde de plomb, on a tenté bien des fois de remplacer par cet oxyde (litharge ou massicot) le minium qui est un oxyde plus riche en oxygène. On le fait quelquefois pour les cristaux les plus communs; mais dans une bonne fabrication, cette substitution n'est pas possible; le cristal, tout en ayant la même composition, qu'il soit obtenu avec la litharge ou bien avec le minium, ne présente tout son éclat et toute sa blancheur qu'autant qu'il a été fabriqué avec le minium. Ce dernier oxyde joue, en effet, un rôle important pendant la fusion de la matière en donnant un dégagement d'oxygène qui empêche la réduction d'une petite quantité de plomb soit par les matières organiques, soit par les gaz du four, bien que celui-ci doive toujours fonctionner avec une atmosphère oxydante; il agit aussi en opérant le brassage de la masse pendant la vitrification; c'est au même titre que l'emploi du carbonate de potasse renfermant encore une certaine quantité d'eau est utile, et aussi celui du nitre, qui donne des produits gazeux riches en oxygène libre. Le cristal produit dans une atmosphère fumeuse présente une teinte grise provenant du plomb réduit qui apparaît dans un grand état de division.

Groisils ou cassins. — On désigne sous ces noms le verre qu'on produit journellement en grande quantité par suite du travail et aussi par suite de la casse. Ces matières rentrent nécessairement dans les compositions

Les groisils sont de deux sortes : les uns sont nets; ils proviennent de la casse et des rognures faites avec les ciseaux du verrier; les autres, *les mors de canne*, qui adhéraient à la canne du souffleur, ceux qui sont restés sur les pontils et sur les cordelines sont plus ou moins tachés de fer.

Il est nécessaire de faire le triage de ces groisils; les premiers rentrent immédiatement dans la composition, après qu'ils ont été simplement brossés dans le but d'enlever la poussière qui peut y adhérer; les autres introduiraient des matières nuisibles s'ils n'étaient pas débarrassés des parties ferrugineuses qui les salissent. Dans ce but, après que les *groisilleuses* ont détaché au marteau ou à la meule le fer qui ne les tache que sur une faible partie, de manière à faire rentrer dans les groisils purs ces fragments nettoyés, on traite par l'acide sulfurique dilué, dans de grandes caisses en fonte garnies de plomb à l'intérieur et placées sur un foyer, les groisils ferrugineux; en chauffant à 100° environ et en remuant sans cesse la masse, au bout de dix à douze heures et plus, quand cela est nécessaire, on arrive à en séparer la plus grande partie du fer que l'acide dissout : on lave ensuite ces groisils à grande eau et on les sèche.

Certains groisils contiennent du fer incrusté dans le cristal et, pour ainsi dire, vitrifié; ils conservent encore une teinte noire dont ce traitement, si prolongé qu'il soit, ne peut pas les débarrasser; on les met de côté pour faire des verres colorés ou des objets à bas prix, notamment des objets d'éclairage,

pour lesquels l'absence de toute coloration n'est pas absolument nécessaire.

On introduit dans les compositions 100 à 160 de groisil pour 100 de sable, selon la quantité dont on peut disposer.

Composition du cristal. — Les matières premières sont généralement employées dans les proportions suivantes :

Sable.	300 parties en poids.
Minium.	200 —
Potasse.	100 —
	600 parties.

Quelquefois on remplace par du nitre raffiné une partie du carbonate de potasse. On y introduit, en outre, les débris du travail antérieur, le *groisil,* en quantité variable, mais égale au moins au poids du sable employé.

Ces proportions varient, d'ailleurs, d'une manière assez sensible dans les cristalleries.

En déterminant la composition chimique des cristaux de différentes fabriques, on trouve que les unes augmentent la proportion du minium, les autres celle de la potasse. Dans nos grands établissements, le dosage est le suivant :

Sable.	300
Minium.	240 à 250
Potasse.	190 à 200

En Angleterre, la composition est faite comme il suit :

Sable.	300
Minium.	150 à 180
Potasse.	220 à 270

Voici la composition de divers échantillons de cristal :

	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Silice.	61,0	51,1	54,2	57,5	51,9	61,3
Oxyde de plomb. . . .	33,0	38,3	34,6	32,5	33,3	21,3
Potasse.	6,0	7,6	9,2	9,0	13,8	7,1
Soude..	»	1,7	0,9	1,0	»	7,5
Alumine	»	0,5	0,5	»	»	0,7
Oxyde de fer	»	0,3	»	»	»	»
Oxyde de manganèse .	»	0,5	»	»	»	»
Chaux	»	»	0,4	»	»	1,0
	100,0	100,0	99,8	100,0	99,0	99,9

1. Cristal de Vonèche, fait à houille, analysé par M. Berthier (l'alumine l'oxyde de fer, etc., n'ont pas été dosés). — 2. Cristal de Baccarat. — 3. Cristal de Choisy-le-Roi. — 4. Cristal de fabrication anglaise.

Ces analyses sont de M. Salvétat.

5. Cristal anglais. Analyse de Faraday.

6. Cristal anglais moulé. Analyse de M. Benrath.

Le cristal anglais est ordinairement moins riche en plomb et plus chargé de potasse que le cristal qu'on fabrique en France.

Après avoir indiqué les précautions à prendre pour la préparation des matières premières, il convient de dire quelques mots sur la manière de les employer, de faire ce qu'on appelle en verrerie les *compositions*.

Les matières doivent être mélangées avec le plus grand soin : c'est à cette condition qu'on obtient une fusion régulière et du cristal bien fait. Dans ce but, après les avoir pesées exactement, on les verse dans de grandes caisses en bois, en tôle ou en fonte. Le sable est répandu le premier au fond des caisses en couche régulière ; on verse dessus la potasse préala-

blement écrasée; on mélange soigneusement à la pelle ces deux matières, puis on passe au tamis ou au blutoir en ayant soin d'écraser les boulettes qui auraient pu se former pendant ces opérations.

Le blutage étant effectué, on mélange de nouveau et à plusieurs reprises; puis, quand on juge que l'incorporation de la potasse est bien faite, on égalise la couche et on répand à sa surface le minium aussi régulièrement que possible; on mélange de nouveau ces trois matières. La coloration en rouge du minium permet de reconnaître à l'uniformité de la teinte si le mélange est bien complet. On répand enfin sur le tout le groisil disponible et on mêle de nouveau à la pelle.

Avec des matières pures et une composition homogène, on peut obtenir du cristal bien blanc; mais, comme malgré tous les soins qu'on a apportés, il peut se trouver des agents de coloration, on ajoute une certaine quantité d'oxyde de manganèse, soit, par exemple, 500 grammes ou bien un poids très-faible d'oxyde de nickel bien pur, soit deux à trois grammes pour 1,000 kilogrammes de composition.

D'autres matières peuvent intervenir dans la fabrication du cristal. MM. Maës et Clémandot ont montré, il y a quinze à vingt ans, que l'acide borique peut jouer un rôle fort utile dans la fabrication des verres de luxe. La présence de ce fondant permet, en effet, de modifier profondément la nature du cristal; l'oxyde de zinc peut se substituer à l'oxyde de plomb; la soude, la chaux ou la baryte deviennent

aptes à remplacer la potasse. Les *boro-silicates* de zinc et de potasse, de potasse et de baryte, de soude et de zinc, fabriqués par MM. Maës et Clémandot, soit sous forme de pièces de gobeleterie, soit pour verres d'optique, sont remarquables par leur éclat, par leur limpidité et par leur blancheur. Mais le prix beaucoup trop élevé de l'acide borique ne permet pas, quant à présent, d'employer cette substance dans la fabrication du verre.

La baryte, à l'état de carbonate artificiel, a été essayée dans plusieurs verreries ; il est probable que cette substance finira par prendre rang parmi les matières premières employées dans l'industrie du verre. Elle peut remplacer avec avantage, comme fondant, la potasse ou la soude, et, fabriquée dans des conditions vraiment industrielles, elle est d'un prix peu élevé.

Fonte du cristal. — En France, le combustible employé pour la fonte du cristal est le bois ou la houille. Les deux cristalleries qui, pendant trois quarts de siècle, ont eu chez nous pour la production de ce verre une sorte de monopole, Baccarat et Saint-Louis, ont été créées au milieu ou dans le voisinage de vastes forêts qui leur fournissaient le bois qu'elles employaient exclusivement comme combustible. Les usines qui ont pris naissance depuis, à Lyon et aux environs de Paris, se servent toutes de la houille. Il en est de même de toutes les cristalleries d'Angleterre et de Belgique.

A Saint-Louis, que nous ne pouvons, en raison de

son origine et de son personnel, rayer du nombre des usines françaises, la houille est seule employée aujourd'hui ; à Baccarat, les fours sont chauffés les uns avec le bois les autres avec le combustible minéral; on empêche ainsi une trop forte augmentation dans le

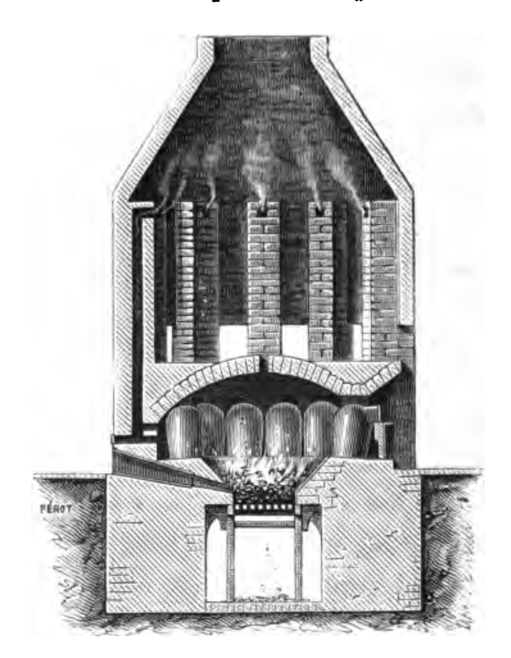


Fig. 63. — Four à cristal à la houille.

prix du bois, et on ménage la transition à l'emploi exclusif de la houille qui, dans tous les pays pourvus de canaux et de chemins de fer, tend à se substituer entièrement au combustible végétal.

Avec le bois, la fonte s'opère dans des creusets découverts, et la fusion est rapide. Le combustible ne doit être introduit dans le four qu'après avoir été préalablement desséché. A Baccarat, le *four à billettes*

est construit de telle sorte que les chariots en fer sur lesquels on charge les billettes de hêtre sont poussés sur un chemin de fer, et y pénètrent par une trappe qui se referme aussitôt; le chariot qui entre fait sortir le chariot chargé de bois desséché qui se trouve à l'autre extrémité. Le foyer est disposé de telle manière que la chaleur est d'autant plus forte que les chariots pénètrent plus avant dans cette étuve. Cette dessiccation est coûteuse, car on brûle une partie de bois pour en dessécher dix; mais elle est indispensable. Sans elle, la température du four de fusion ne serait pas assez élevée, et les produits de la combustion du bois humide auraient pour effet de colorer le cristal, en amenant à l'état métallique une petite partie de l'oxyde de plomb.

Avec la houille, on est obligé d'employer des creusets fermés ou couverts; les cendres toujours ferrugineuses de la houille et les gaz fumeux résultant de sa combustion donneraient au cristal une mauvaise couleur et lui ôteraient son éclat. Néanmoins M. Didierjean, l'habile directeur de Saint-Louis, en apportant aux fours Siemens d'importantes modifications, est arrivé à fondre le cristal dans des creusets ouverts avec les gaz de la houille.

Le temps nécessaire pour la fusion proprement dite des matières premières est de huit à neuf heures. L'affinage dure une heure et demie à deux heures. La durée du travail des verriers est de onze heures, pendant lesquelles une demi-heure est consacrée au repas: ainsi le travail effectif est de dix heures et demie; il commence et finit tous les

jours à la même heure, par exemple, de cinq heures du matin à quatre heures du soir.

Le travail terminé, on procède immédiatement au décrassage des grilles et du four, au nettoyage des places, au remplacement des creusets, s'il y a lieu; de telle sorte que tout est prêt pour l'enfournement des matières qui a lieu à six heures du soir.

Nous avons vu que la fusion des matières exige huit à neuf heures : le cristal se trouve donc fondu à deux ou trois heures du matin et jusqu'au moment où commence le travail, il reste le temps nécessaire pour l'affinage, temps pendant lequel on laisse tomber un peu la température du four, de manière à ce que le verre perde de sa liquidité et prenne l'état pâteux qui permet aux ouvriers de le cueillir facilement.

On fait six travaux par semaine, le dimanche étant un jour rigoureusement férié.

En Angleterre, le travail est organisé d'une toute autre manière. La fusion des matières s'opère dans des creusets et dans des fours de très-grande dimension; les creusets renferment 800 à 1,000 kilogrammes de matières premières dont la fonte exige quarante-huit à soixante heures. Le cristal, une fois fondu, sert pour la semaine, c'est-à-dire pour quatre jours ou quatre jours et demi. Le travail est continu et s'exécute au moyen de places qni se relayent de six heures en six heures; il commence le lundi et finit le vendredi. Cette manière de travailler semble être peu rationnelle; elle se ressent encore des entraves apportées par l'impôt sur

l'industrie du verre qui a longtemps existé chez nos voisins[1]; l'ouvrier n'est occupé que quatre

1. La fabrication du verre en Angleterre a été longtemps entravée par le droit intérieur (*excise duty*) qui pesait sur le cristal et sur toutes les autres sortes de verres. Cet impôt, qu'on avait proposé d'établir chez nous et auquel, heureusement pour notre industrie verrière, on a dû renoncer à la suite d'une discussion approfondie, remontait pour les Anglais à l'année 1695, sous le règne de Guillaume III. Quelques années après, la taxe sur le verre était réduite de moitié, puis entièrement supprimée à cause de son caractère vexatoire et du préjudice qu'elle apportait à l'industrie du verre dont elle arrêtait l'essor. Rétablie en 1746, elle fut souvent modifiée; en 1812, elle fut doublée comme taxe de guerre; elle amena ce résultat que, malgré le grand accroissement de la population, la production du verre allait toujours en diminuant. Enfin, en 1845, elle a été entièrement supprimée sous le ministère de sir Robert Peel.

Ce droit représentait quelquefois au delà de trois fois la valeur du verre lui même. Il était perçu au poids; mais, en outre, comme on n'avait pas trouvé dans ce mode de perception des garanties suffisantes, les verreries étaient exercées. « Pendant le règne de l'Exercice, aucun creuset ne pouvait être déplacé de l'endroit dans lequel il était séché pour être mis dans l'arche à cuire les pots, sans une autorisation écrite du surveillant du fisc; une seconde autorisation était exigée pour le jauger; une troisième pour le placer dans le four; une autre pour le remplir et une autre pour le vider. En outre, le maître de la verrerie était forcé d'obéir strictement à l'acte du parlement en donnant six heures à son surveillant pour formuler les autorisations concernant chacune de ces demandes compliquées et vexatoires. » (*Curiosities of glass making*, de M. A. Pellatt, fabricant de cristaux à Londres).

On a tout lieu d'espérer que les progrès de l'éducation publique en matière d'impôts préserveront désormais le verre de taxes d'une perception presque impossible en raison de la diversité de ses formes et de ses usages; quel que soit le mode de recouvrement, elles entraveraient toujours, sans nul doute, les améliorations que réalise chaque jour une industrie non moins importante pour la consommation intérieure que pour notre commerce avec l'étranger.

jours par semaine, soit quarante-huit heures; le cristal qui reste fondu pendant un temps aussi prolongé perd de sa qualité, de son homogénéité; c'est à ce mode de travail qu'il convient d'attribuer les stries nombreuses que présente habituellement le cristal anglais lorsqu'on l'exâmine avec attention : il est vrai qu'aux yeux de quelques personnes, ces stries contribuent à donner aux cristaux anglais l'éclat qui les distinguent.

Les *places* qui, en France, se composent généralement de dix à douze personnes, tant ouvriers que gamins, ne sont que de quatre en Angleterre, à savoir : un chef de place ou *ouvreur;* un *souffleur;* un *carreur* et un *gamin.* Avec une pareille organisation, le travail est moins divisé qu'en France et, comme conséquence, la production est beaucoup moindre dans le même temps. Ces inconvénients sont, à la vérité, compensés par quelques avantages, notamment par une durée plus grande des fours et des creusets, qui sont soumis à une chaleur moins élevée et qui n'ont pas à subir de changements aussi brusques de température; il n'est pas rare de voir en Angleterre des fours durer six à huit ans, à la condition de réparer les siéges tous les deux ans : les pots résistent, en moyenne, quatre et quelquefois six à sept mois; en France les fours sont hors de service au bout d'un an à dix-huit mois et les creusets doivent être remplacés après six semaines ou deux mois d'ausge; ce qui tient aux refroidissements brusques résultant de l'introduction quotidienne de matières froides. On comprend aussi que pour fondre en huit

heures, il faut une température beaucoup plus élevée que pour exécuter la même opération en cinquante ou soixante heures; une dépense plus grande de combustible est, à la vérité, la conséquence du système anglais ; mais on sait que la houille est meilleur marché chez nos voisins que chez nous.

Outillage. — Les outils dont se servent les ouvriers sont les mêmes dans les cristalleries que dans les autres ateliers dans lesquels on travaille le verre; ils sont simples et peu nombreux : ce sont des cannes, des pontils, des plaques de fonte sur lesquelles on roule le verre chaud que l'on nomme *marbres*, des palettes en bois et d'autres en fer poli ou en acier; des pinces de différentes grandeurs, dont plusieurs sont garnies de lames en bois et quelques compas. C'est à l'aide de ces seuls outils que les verriers travaillaient autrefois et donnaient au verre soufflé les formes les plus variées et même les plus compliquées. Aujourd'hui leur travail se trouve grandement facilité tant par l'emploi des moules en bois, qu'ils ont empruntés aux Bohêmes, que par celui des moules en fonte douce : ceux-ci ont le double avantage de ne point s'user ou, tout au moins, de durer fort longtemps, et de donner au verre qu'on y introduit, des formes plus accentuées. Les moules en bois, dont les arêtes se brûlent et s'émoussent, sont bien vite hors de service ; les moules en fonte, au contraire, résistant à la chaleur du verre peuvent donner des formes aussi précises, aussi nettes qu'on peut le désirer.

A ces outils, que nous avons déjà décrits, il convient d'ajouter le *banc* sur lequel s'assied le chef de place pour travailler les pièces; il est muni de deux bras ou *bardelles* garnies de bandes de fer faisant saillie, sur lesquelles l'ouvrier pose et roule sa canne.

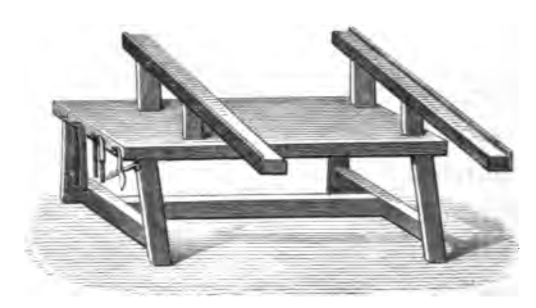


Fig. 64.

Nous avons vu que, pour se servir des moules en bois ou en métal, le verrier introduit dans le moule sa paraison, après l'avoir soufflée à une grosseur convenable; puis il souffle en imprimant à la canne un mouvement de rotation aussi rapide que possible; c'est par ce mouvement que le verre à l'état mou prend exactement la forme du moule : ce résultat s'obtient facilement dans un moule en bois, dont l'intérieur se charbonne en produisant entre la pièce qu'on souffle et les parois du moule une sorte de matelas de produits gazeux qui facilitent la rotation; mais le même effet ne peut se produire dans un moule métallique; il serait impossible de tourner la canne sans faire usage d'un artifice particulier; on imbibe le moule d'huile au moyen d'un pinceau ou d'un goupillon, puis, à l'aide

d'un tamis très-fin, on y projette une poussière de charbon de bois très-ténue. Avec cette précaution, la paraison introduite dans le moule tourne aussi bien et même mieux que dans un moule en bois.

Un autre progrès apporté à l'outillage consiste dans des pinces en fonte profilées de manière à donner la forme aux jambes des verres; si compliquées qu'elles soient, elles sont faites aussi rapidement que les jambes unies.

L'emploi des moules métalliques n'est possible que pour faire des objets unis ou n'ayant que des reliefs horizontaux qui permettent le mouvement de rotation imprimé à la canne : ces moules se font avec charnières et souvent en deux parties seulement qu'on rapproche pour le travail. S'il s'agit d'obtenir des pièces avec des dessins compliqués et des reliefs dans tous les sens, les moules en fonte dont on fait usage s'ouvrent en autant de parties qu'il est nécessaire; mais le mouvement de rotation n'étant plus possible, on a recours à un autre moyen : la compression de l'air avec une pompe d'une construction très-simple. Cette pompe a été inventée en 1824 par un ouvrier souffleur de Baccarat nommé Robinet qui, devenant malade, remplaça par cet outil les poumons qui lui faisaient défaut. La Société d'Encouragement accorda à cet inventeur une médaille d'or, et l'administration de Baccarat lui fit une pension. Cet outil,



Fig. 65.

aujourd'hui fort employé, est connu sous le nom de *piston* ou de *pompe de Robinet.*

C'est un petit cylindre en laiton, fermé par un bout, dans l'intérieur duquel se trouve un ressort à boudin en fer; à sa partie inférieure est une sorte de piston en bois avec ouverture garnie de cuir, retenu par une fermeture à baïonnette percée d'un trou. L'embouchure de la canne, celle-ci étant tenue verticale, étant mise en contact avec le piston, l'ouvrier comprime, par un mouvement brusque qu'il donne au ressort, l'air contenu dans ce cylindre et injecte cet air dans la pièce qu'il veut fabriquer. A l'aide de ce procédé on obtient toutes les formes désirables, rondes, ovales, carrées, etc. Pour les objets de petite dimension on peut obtenir plusieurs exemplaires avec un seul coup de piston.

Travail du cristal. — Nous avons vu qu'en Bohême on fait usage de fours de petite dimension et de creusets ne contenant que 60 à 80 kilogrammes de composition qui exigent pour la fonte dix-sept à dix-huit heures; le personnel des verreries y est fort restreint; il se borne à un ouvrier et son aide, ou un souffleur et un enfant. Dans ces conditions, il faut onze à douze heures de travail pour employer la matière vitrifiée contenue dans le creuset.

En France et en Belgique, on procède tout autrement. Les fours sont de grande dimension et renferment huit à dix creusets contenant chacun au moins 300 kilogrammes de composition neuve mélangée



Fig. 161. — Intérieur d'une cristallerie.

de groisils; ils rendent à peu près 250 kilogrammes de matière fondue, prête à être travaillée. Avec des fours construits dans de bonnes conditions, l'affinage n'exige que douze à quatorze heures : on fait six travaux par semaine, durant chacun onze à douze heures. Ces verreries ont donc à leur disposition, chaque semaine, 12,000 kilogrammes de matières fondues dont les deux tiers environ entrent dans les produits fabriqués; soit, par conséquent, 8,000 kilogrammes de verre marchand, tandis qu'une verrerie de Bohême n'en produit que 1,000 kilogrammes, tout en utilisant une plus forte proportion de verre fondu. On voit que cette organisation du travail diffère beaucoup de celle des verriers de la Bohême.

Pour l'industrie du verre, avec des fours toujours en feu et des frais généraux de toute sorte assez considérables, le problème industriel à résoudre consiste à produire le plus possible dans un temps donné, c'est-à-dire dans les dix à douze heures consacrées au travail; de même qu'au point de vue technique, l'art du verrier consiste à fondre le plus de silice (sable ou quartz) avec le moins de fondant et de combustible. Pour économiser le temps, le personnel doit être organisé de manière à ce qu'il n'y ait pas un seul instant perdu. Pour atteindre ce but, *il faut diviser le travail* le plus possible et créer parmi les ouvriers des spécialités dans lesquelles ils deviennent en peu de temps très-habiles.

Dans les verreries importantes et bien organisées, les mêmes *places* doivent autant que possible faire toujours les mêmes objets. Ainsi une *place*

de gobelets fait toujours des gobelets; une place de verres à pied, toujours des verres à pied, etc. Une place ou atelier se compose généralement, suivant le genre de pièces qu'on exécute, de neuf à douze personnes, y compris les apprentis ou gamins, à savoir : un chef de place appelé *ouvreur;* un premier et un second *souffleur;* un pareur ou *carreur;* un ou deux *cueilleurs;* puis des apprentis désignés sous les noms de *grands, moyens* et *petit gamins.* La besogne est répartie de la façon la plus régulière pour chacun des ouvriers qui composent l'atelier, de telle sorte que le chef de place chargé de donner le dernier coup à la pièce ne perd pas une minute et n'a jamais un moment d'attente : c'est en observant strictement ces conditions qu'on arrive à faire bien et à faire vite. Chacun ayant la responsabilité de son travail, il devient facile de constater quel est celui qui est en faute lorsqu'une pièce est défectueuse ou lorsqu'elle est manquée.

Prenons pour exemple la fabrication des verres à pied de grandeur ordinaire pour l'usage de la table. Le cueilleur prend dans le creuset avec la canne la quantité de verre nécessaire pour faire la paraison de la coupe; il la passe immédiatement au carreur qui donne à cette paraison la forme voulue A (fig. 67); celui-ci la remet à l'un des souffleurs chargé d'y appliquer la jambe B; ce qu'il fait sans quitter sa place, le verre nécessaire lui étant apporté par un cueilleur ou par un grand gamin. La jambe posée, la pièce passe entre les mains d'un autre souffleur dont l'office est d'y adapter le pied; le verre lui

est apporté par un cueilleur et il n'a pas non plus à se déplacer.

Lorsque la paraison est munie de sa jambe et de

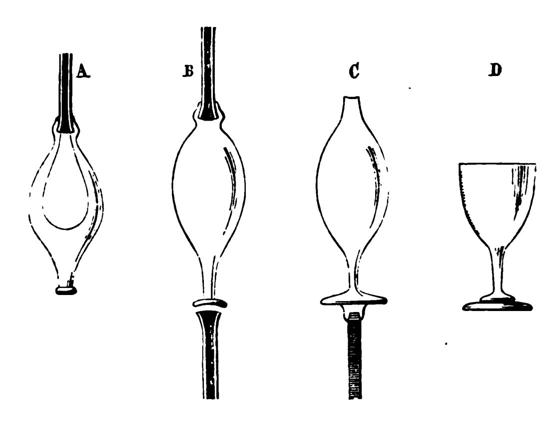


Fig. 67.

son pied, on procède à l'empontillage : un gamin arrive muni d'une tringle en fer (d'un pontil) garnie

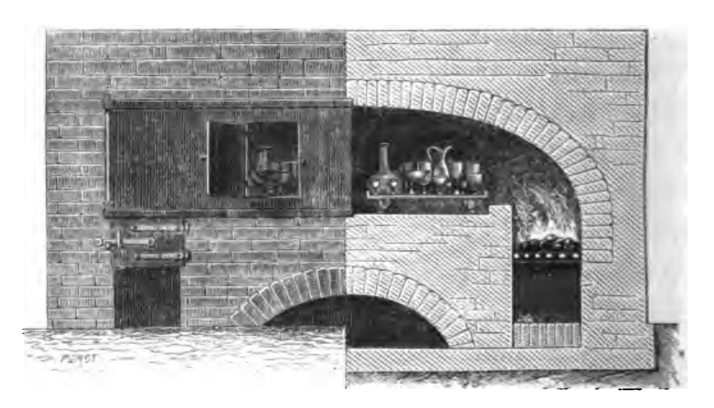


Fig. 68.

à son extrémité d'un peu de verre chaud. Le souffleur applique ce pontil sous le pied de sa pièce C, et

quand l'adhérence est produite, il détache le verre de la canne en déterminant une fêlure sur la calotte et en donnant à la canne un coup sec. Le verre ainsi empontillé est présenté à l'ouvreau par le gamin qui le chauffe de manière à en ramollir la partie supérieure et qui le porte, ainsi ramolli, au chef de place qui rogne la coupe à la hauteur voulue; puis le verre est reporté à l'ouvreau pour recevoir une seconde chaude qui permet de donner à la coupe la forme définitive. Le verre D, étant terminé, est détaché du pontil, saisi avec une fourche et porté immédiatement à l'arche à recuire (fig. 68), par le gamin chargé de cette besogne.

Cette organisation du travail permet de marcher très-vite; il est rare que le chef de place ait à quitter son banc, le travail du réchauffage étant fait par des gamins; c'est ainsi qu'on arrive à fabriquer en onze heures six à sept cents verres à pied. S'il s'agit d'objets sans pieds, de gobelets, par exemple, le travail est beaucoup plus rapide et chaque place peut produire mille à douze cents pièces.

Le travail du cristal est d'ailleurs rendu facile, tant par sa grande fusibilité qu'à cause de sa résistance à la dévitrification qui permet de réchauffer les pièces un grand nombre de fois.

Nous donnerons un autre exemple : Pour faire un pot à eau (fig. 69), la quantité de verre nécessaire étant cueillie et *marbrée, la paraison étant faite,* on introduit la *poste* dans le moule, et on souffle de manière à lui en faire occuper toute la capacité. Le

maître-ouvrier, assis sur son banc, reçoit la canne, et, la faisant tourner, pare le bout du cylindre A avec ses fers, en étrangle le col, et ajuste les cordons de verre qui forment les nervures de la pièce.

Pendant ce travail, on a cueilli et marbré au bout d'un pontil un morceau de cristal, qu'on aplatit et qu'on soude au cylindre de manière à former le pied du vase (B, C). La pièce étant empontie et refroidie

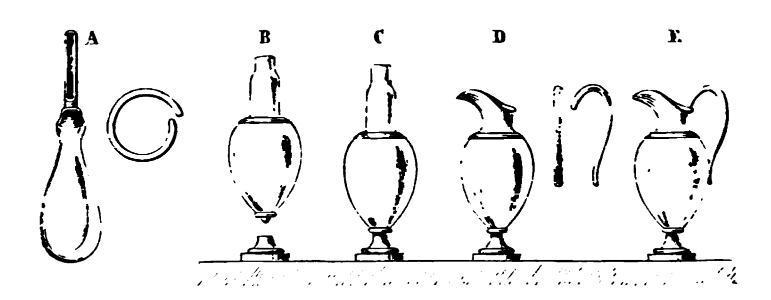


Fig. 69.

avec les fers dans sa partie supérieure, au moyen d'un coup sec, on la détache de la canne qui a servi à la souffler; fixée par son pied au nouveau pontil, elle est réchauffée; son col est d'abord évasé, puis découpé avec des ciseaux (D). Les bords sont arrondis par une nouvelle chaude. Pendant ce travail, on a préparé un cylindre plein qu'on a légèrement aplati et courbé avec les pinces. Ce cylindre est posé et ajusté par le maître-ouvrier, de manière à former l'anse du pot à eau (E), dont la façon se trouve ainsi terminée.

La pièce est enfin *dépontillée* et portée sur une fourche à l'arche à recuire.

Pour ces objets de fantaisie et pour ceux d'une fabrication plus compliquée, le travail est, on le comprend, moins rapide; mais il doit toujours être organisé de manière à laisser le moins possible de temps perdu à chacun des ouvriers qui composent la place : c'est le cas de dire avec les Anglais, *time is money* : car le bénéfice qu'on peut attendre de la fabrication résulte surtout de ces conditions de travail rapide : il est plus important, au dire des verriers les plus expérimentés, d'aller vite que d'économiser le verre : avec les grands creusets dont on dispose aujourd'hui, la matière manque rarement pendant la durée du travail et si, en marchant vite, on fait un peu plus de groisil, celui-ci n'est pas perdu et rentre dans la composition du lendemain dont il accélère la fonte.

La fabrication des verres doublés ne permet pas d'aller aussi vite que celle des verres ordinaires : néanmoins, avec une bonne répartition du travail, on arrive aussi à des résultats satisfaisants.

Les verres colorés et les émaux pour doublures sont à l'avance étirés en bâtons. Pour en faire usage, on les chauffe à l'ouvreau de manière à les ramollir afin d'en prendre la quantité qu'exige chaque pièce à fabriquer. Cette quantité étant détachée du bâton, on cueille au bout de la canne une petite paraison de verre blanc sur laquelle on étend régulièrement le verre de couleur. On souffle de manière à former une sorte de cornet qu'on détache ensuite de la canne et dans lequel on introduit la quantité de verre blanc nécessaire suivant la dimen-

sion de la pièce qu'on veut faire. Le reste se fait comme à l'ordinaire. Si donc on organise une place à faire du doublé, de manière à ce que les cornets revêtus de verre de couleur ne se fassent pas attendre, la fabrication est assez rapide et ces verres peuvent aussi être produits à bon marché.

Pour les objets très-communs et à bas prix tels que salières, bobèches, etc., la pièce est mise à l'arche à recuire telle qu'elle sort du moule; les premières pièces faites dans un moule préalablement barbouillé d'huile ne présentent pas une surface parfaitement polie et brillante; lors donc qu'on veut donner aux objets moulés un beau poli qui les fait ressembler à des objets taillés, il faut, après qu'ils sont sortis du moule, les mettre au pontil : le verrier les présente à l'ouvreau, les ramollit et leur donne la forme définitive au moyen de ses pinces. Lorsque la moulure est bien *rebrûlée,* elle acquiert presque le même brillant que la taille, avec cette différence, toutefois, que les arêtes sont toujours un peu moins vives.

Le procédé de moulage par la presse a fait depuis quelques années de très-grands progrès et fournit aux verriers de précieuses ressources. On obtient par ce moyen des formes et des dessins qu'il serait impossible d'obtenir autrement et qui reviennent à des prix très-modérés. Aujourd'hui les usines françaises fabriquent, au moyen du moulage, des groupes d'animaux, des cariatides, des statuettes et même des bustes d'assez grande dimension. Ces objets, dont la confection est très-satisfaisante, reviendraient

à des prix fort élevés si on les fabriquait par les anciens procédés de la taille. C'est un notable progrès accompli récemment dans l'art de la verrerie.

Moulage des verres et des cristaux. — Les moules en bois ou en fonte dont il vient d'être question fonctionnent au moyen du souffle de l'ouvrier ou du piston; il est une autre sorte de moules également fort employés à l'aide desquels on obtient les objets les plus variés et les dessins les plus compliqués en imitation de la taille: ce sont les verres moulés ou coulés du commerce. Pour les obtenir on fait usage de presses à leviers ou à vis. Dans ce mode de fabrication, l'art du verrier disparaît en grande partie, le procédé mécanique intervenant presque seul dans le travail. Ces moules se font à charnières et avec un nombre de compartiments qui varie suivant les exigences de la dépouille que présente la pièce. Pour se servir du moule, on en fixe le fond sur un plateau à coulisse qui se manœuvre avec facilité, de manière à le faire glisser sous la presse pour opérer le moulage; lorsqu'il est en place, le verrier apporte au bout de sa canne la quantité de verre nécessaire à la confection de la pièce qu'il veut obtenir; il rogne le surplus avec ses ciseaux; il ne s'agit plus que de faire descendre dans le moule le noyau qui doit en déterminer exactement l'intérieur. Ce noyau est fixé à une barre qui glisse aussi à coulisse dans la charpente de la presse, et la pression s'opère avec la plus grande facilité. On relève alors le levier ou la vis, suivant le genre de presse qu'on emploie, et on retire la

plaque à coulisse; le moule étant ouvert, on en sort la pièce qui a pris exactement l'empreinte du moule.

Le moulage par la presse fournit aussi d'une façon très-économique les prismes, les pendeloques, tous les pendentifs qui constituent la lustrerie. La forme étant donnée par le moule, le travail du tailleur se trouve considérablement abrégé. Pour les lustres communs, on se sert souvent de boutons ou pendentifs qui ne reçoivent d'autre taille que le polissage d'un côté et qu'on appelle la *flette*.

Décalotage des verres. — Nous avons vu comment se fabriquent les verres à boire, et nous avons décrit le mode de travail tel qu'il est pratiqué depuis un temps immémorial. Par cette méthode, *l'ouvreur* termine la pièce, après qu'elle a été empontillée, en la rognant avec ses ciseaux et en lui donnant ensuite avec ses pinces la forme définitive.

Les verriers de la Bohême procèdent tout autrement : ils fabriquent la plupart de leurs pièces creuses, les chopes, les gobelets, les vases, etc., sans les rogner; ces pièces, comme nous l'avons vu, ne sont pas empontillées; elles sont détachées entières, avec leurs calottes, telles qu'elles ont été faites par le souffleur.

Cette méthode, qui est plus expéditive, a été imitée par les usines françaises qui l'ont beaucoup perfectionnée; tandis que les Bohêmes coupent ces calottes au moyen d'un fer chaud (fig. 62), ce qui donne souvent une cassure irrégulière, ou bien au moyen de la roue de tailleur, ce qui est long, on

opère en France ce *rognage* ou *décalotage* en faisant usage de l'air chaud légèrement comprimé. On obtient ainsi une cassure nette et régulière.

Pour exécuter cette opération, on procède comme il suit : la pièce est placée sur une tournette qui la présente à la hauteur voulue devant un tuyau, taillé en bec de flûte, qui amène l'air chaud sous la forme d'une lame très-mince; par le mouvement de rotation qu'on imprime à la tournette, on échauffe une zone très-étroite du verre à l'endroit où l'on veut produire la fêlure : en touchant avec un corps froid, la calotte se détache avec une netteté merveilleuse; mais elle laisse à la pièce des bords très-coupants. Il est, en conséquence, nécessaire de fondre ces bords ou bien de les user au moyen de la roue de tailleur, ainsi que cela se pratique en Bohême.

Cette dernière opération laisse à désirer; elle transforme les bords du verre en une sorte de biseau désagréable aux lèvres. Pour parer à ce défaut, la cristallerie de Baccarat opère le *rebrûlage* au moyen d'une lampe d'émailleur dont on projette le dard sur les angles de la pièce, dans le but de les arrondir, en les fondant au moyen de cette sorte de chalumeau. C'est une opération délicate qui demande une certaine habitude de la part de l'ouvrière qui l'exécute; mais lorsque celle-ci est au courant de ce travail, cette fusion se fait vite et bien. Les pièces, dont les bords ont été arrondis par ce procédé, subissent un nouveau recuit dans l'arche; autrement, ayant été trempées par un brusque refroidissement, elles seraient exposées à se briser.

Une autre méthode de rognage consiste à promener dans l'intérieur de la pièce à laquelle on imprime un mouvement lent de rotation, un diamant fixé à une tige plus ou moins longue ; ce diamant coupe le verre et détermine la séparation de la calotte; c'est ainsi que procèdent dans la cristallerie du Bas-Meudon MM. Houdaille et Landier. Les bords sont ensuite usés au grès ou rebrûlés.

Les procédés que nous venons de décrire ne s'emploient pas, à beaucoup près, pour toutes les pièces ouvertes qui se fabriquent en verrerie : pour beaucoup, on a conservé l'ancien mode de rognage avec les ciseaux; les services de table courants, dont les bords ont une certaine épaisseur, ne se prêtent pas à ce genre de décalotage ; mais, pour les services minces et demi-minces et pour une foule de pièces légères, cette méthode présente un perfectionnement fort important : il réalise une économie considérable en supprimant ou en limitant le rôle du chef de place, ouvrier dont le salaire est toujours élevé; la quantité de verre utilisé est aussi notablement plus grande. On obtient par ce moyen des services légers, élégants et d'une parfaite régularité : pour les verres à pied, par exemple, la coupe se fait dans le même moule, la jambe dans la même pince; ces deux parties ont toujours la même forme et le rognage s'opère toujours à la même hauteur : les verres minces ainsi fabriqués ont pris, depuis quelques années, une place considérable dans le commerce, pouvant être livrés désormais à des prix très-modérés.

Cristal durci par la trempe. — Le procédé de M. de la Bastie pour durcir le verre est sorti de sa période d'essai pour entrer dans la pratique. La cristallerie de Choisy-le-Roi livre aujourd'hui au commerce des cristaux qui ont subi l'opération de la trempe et dont la solidité, disent les marchands, est trente fois plus grande que celle des cristaux ordinaires.

La question du verre durci a été déjà traitée ; mais elle a marché plus vite que l'impression de ce livre et elle a fait, pour le cristal, un progrès considérable; aussi je crois devoir y revenir, en empruntant à une publication de M. Bourée, ancien élève de l'École centrale[1], une partie des renseignements qui suivent :

Je rappellerai que, pour tremper le verre, on l'immerge, étant chauffé au rouge, dans un bain qui est lui-même à une température déterminée. La trempe est d'autant plus énergique que le refroidissement a été plus considérable; mais si le bain est trop froid, le verre se brise : on est ainsi conduit à déterminer la température *minima* que le bain doit avoir pour tremper le verre chauffé jusqu'au degré auquel il est ramolli : elle varie avec la composition du verre, avec la forme, l'épaisseur et la dimension des pièces et aussi avec la température du verre lui-même. On peut admettre d'une manière générale que le bain doit être d'autant plus chaud que le verre est moins fusible ; ainsi le verre de Bohême, qui, étant

1. *Notes sur le verre trempé,* par M. Bourée (Bulletin mensuel de l'Association amicale des anciens élèves de l'École centrale des arts et manufactures, août 1876).

très-siliceux, ne fond qu'à une température très-élevée, se trempe dans un bain atteignant au moins 300 degrés ; le verre ordinaire, à base de soude, dans un mélange d'huile et de graisse de 150 à 300 degrés ; le cristal, qui se ramollit à une température bien plus basse, dans un bain de graisse porté à 60 à 80 degrés seulement.

Le mélange suivant :

Sable	300
Potasse ou soude	100
Minium	50

fournit un verre qui donne, à la trempe, de bons résultats[1].

La graisse, préalablement chauffée pendant plusieurs jours à 110 degrés, complétement privée d'eau, par conséquent, est seule employée pour la trempe du cristal ; l'emploi de l'huile rend le nettoyage des pièces plus dispendieux ; malgré cet inconvénient, on est obligé, lorsque la trempe exige une température comprise entre 150 et 300 degrés, de faire usage d'un mélange de trois parties d'huile de lin et d'une partie de graisse.

Il est essentiel, pour le succès de l'opération, que la température de la pièce à tremper soit parfaitement uniforme dans toutes ses parties : lorsque l'objet façonné sort des mains du chef de place, il convient de le remettre à l'ouvreau pour assurer

1. Ce verre ne contiendrait guère que le tiers de la quantité d'oxyde de plomb renfermée dans le cristal ordinaire, soit 11 à 12 pour 100.

l'égale répartition de la chaleur; celle-ci doit être bien régulière dans l'ouvreau : on obtient ce dernier résultat en y faisant brûler des bûchettes qu'on a le soin de répartir bien uniformément. Enfin la matière vitreuse contenue dans les creusets doit présenter elle-même une parfaite homogénéité.

La pièce, étant convenablement réchauffée, est plongée rapidement dans le bain; celui-ci est contenu dans une cuve cylindrique en tôle, placée sur le sol de l'usine et à proximité de l'ouvreau; détachée de son pontil par un petit coup sec, elle est reçue sur un crochet mobile en fer, puis elle tombe dans un panier en toile métallique plongé dans la cuve. Il importe de laisser le cristal se refroidir graduellement dans le bain; à cet effet, la cuve, garnie des pièces immergées dans la graisse, est amenée dans une chambre maintenue à 40 degrés, c'est-à-dire au point de fusion de la matière grasse.

Au bout de quatre à cinq heures, le panier est retiré du bain et les verres, rangés sur des claies, sont introduits dans une étuve dite *d'égouttage* chauffée à 40 degrés. Ils sont ensuite plongés successivement dans un bain chaud de soude caustique, puis dans de l'eau à 50 degrés; l'eau à la température ordinaire complète le rinçage. Essuyés, ils sont portés au magasin pour être triés. Le verre trempé se taille et se grave aussi facilement que le verre ordinaire.

Nous avons vu que pour les verres autres que le cristal, on se sert d'huile au lieu de graisse; le nettoyage est alors beaucoup plus dispendieux, étant fait au moyen de l'essence de térébenthine.

Dans une cristallerie, l'installation de la trempe, faite d'une façon continue, n'entraîne pas à des frais bien considérables; en établissant le prix de revient pour chaque objet et en admettant 10 pour 100 de casse et de déformation, ce prix serait approximativement, d'après M. Bourée :

Pour les gobelets de toutes formes,	de	$0^{f},022$ à 0,025
Pour les verres à gaz	de	0,030
Pour les verres de lampe	de	0,040
Pour les globes de lampe	de	0,050

La trempe du verre ordinaire revient à un prix notablement plus élevé ; l'opération s'exécutant dans l'huile à une plus haute température, la perte du liquide par évaporation est plus grande et, comme nous l'avons dit, le nettoyage des pièces est bien plus dispendieux.

Prix de revient du cristal. — D'après M. Émile Godard, directeur de Baccarat, on emploie pour obtenir 100 kilogrammes de cristal vénal, 144 kilogrammes de matières, qui sont :

Sable.	72 kil.
Minium.	48
Potasse.	24
Ensemble.	144 kil.

Ces matières perdent 13 à 15 pour 100 à la fonte, suivant la manière dont elle est conduite et suivant l'état de ces matières, soit en moyenne 14 pour 100

ou 20 kilogrammes. On a donc 124 kilogrammes de cristal fondu.

La perte est due: 1° à l'évaporation de l'eau de la potasse et à l'acide carbonique qui se sépare de ce sel; 2° au dégagement de l'oxygène provenant de la décomposition du minium; cet oxygène est utile pour brasser la matière et pour brûler les traces de matières organiques que la composition peut renfermer : on a vainement tenté, ainsi que nous l'avons dit, de faire du beau cristal avec la litharge ou avec le massicot; 3° aux matières perdues dans le mélange et l'enfournement, et lorsque les creusets viennent à casser.

Une portion de ce cristal fondu reste adhérente aux creusets, dont elle constitue l'*enverrage;* une autre portion est séparée avant ou pendant le travail, sous forme d'impuretés qui remontent à la surface du verre fondu: ce sont les *escramures*. Une quantité notable de verre s'attache aux outils, d'où on le retire plus ou moins incrusté de fer ; une autre tombe en rognures sous les ciseaux du verrier; il y a, en outre, des pièces manquées, du verre gaspillé par les ouvriers ou les apprentis. Tous ces débris pèsent plus que le cristal converti en objets vendables; mais tout n'est pas perdu; une partie, après avoir été traitée, triée et nettoyée, rentre dans les fontes suivantes. Le véritable déchet s'élève, en moyenne, à 14 pour 100, soit 17^{k}.1. Ainsi 144 kilogrammes de composition, ayant donné 124 kil. à la fonte, représentent 106^{k}.9 de cristal fabriqué.

Enfin, pour dépontiller ou fletter le cristal uni

et l'amener à l'état convenable pour la vente, on lui enlève environ 6 pour 100 de son poids; de sorte que ses 144 kilogrammes de composition donnent, en définitive, 100 kilogrammes de cristal uni dépontillé. La fonte et le travail de ces 100 kilogrammes exigent, avec les anciens fours, 720 kilogrammes de houille.

Pour le cristal fait au bois, on consomme 2 stères 90 de bois séché pour 100 kilogrammes de produit marchand.

Avec ces données et d'autres, empruntées à l'Enquête faite en 1860, on arrivait approximativement au prix de revient de ces 100 kilogrammes de cristal :

Sable lavé à 3 fr. les 100 kilogr	2 fr.	16 c.
Minium à 80 fr. les 100 kilogr	39	40
Potasse à 155 fr. les 100 kilogr. (à 100°). .	37	20
Houille à 25 fr. la tonne.	18	00
	96 fr.	76 c.

soit environ 1 franc le kilogramme.

Avec la main-d'œuvre, l'intérêt du capital engagé, l'amortissement, etc., le cristal usuel non taillé revenait en France à 200 ou 225 francs les 100 kilogrammes; le cristal taillé ordinaire, à 300 francs.

Depuis cette époque, le prix de la potasse a baissé et l'emploi des fours Siemens a diminué notablement la consommation du combustible.

D'après M. Lelièvre, du Val-Saint-Lambert, le cristal fondu, prêt à être travaillé, revenait en Belgique, à la même époque, à 65 ou 70 centimes le kilogramme.

VERRES ET CRISTAUX DE FANTAISIE, TRANSLUCIDES, OPAQUES, INCOLORES OU COLORÉS.

Depuis une trentaine d'années, il s'est produit dans notre industrie du verre une véritable révolution qui a réalisé d'immenses progrès; autrefois on n'y produisait guère que du verre blanc et quelques verres colorés : aujourd'hui, il n'est aucun genre de produit qui ne soit fabriqué avec un tel succès que nos verriers n'ont plus rien à apprendre de ceux de la Bohême ou de Venise. La fabrication de ces produits date de 1837, époque à laquelle des prix pour cette création ont été offerts, sur la proposition de M. Dumas, par la Société d'encouragement pour l'industrie nationale. Ces prix ont été remportés en 1839, par M. E. de Fontenay, pour la fabrication du verre teint dans la masse et du verre à deux couches ; par M. Bontemps, pour les verres à vitre de couleur, et par MM. de Fontenay et L. Robert, pour la peinture et la décoration des objets de gobeleterie.

La verrerie de Vallerysthal, que dirigeait alors M. de Fontenay, a donné la première impulsion pour la fabrication des verres doublés, triplés, filigranés, rubanés, etc. Cet exemple a été bientôt suivi par d'autres verreries et surtout par les cristalleries : non-seulement elles se sont livrées à la fabrication des objets de fantaisie, mais elles ont beaucoup empiété sur le domaine de la céramique proprement dite, en produisant d'énormes quantités de vases et

d'objets de toute espèce en opale et en pâte de riz, qui, livrés à la décoration, reçoivent la dorure et la peinture, et luttent avec avantage avec les produits similaires en porcelaine.

La cristallerie de Baccarat s'est particulièrement distinguée dans ce genre de fabrication : elle produit chaque année une immense quantité de vases peints et décorés, d'objets de toutes sortes en verre de couleur, doublés, triplés, filigranés, etc. On rencontre dans ses magasins, à côté des pièces les plus riches, ornementées par la taille, la gravure ou la peinture, une foule d'objets de fantaisie, montés en bronze doré ou en bois sculpté, aussi remarquables par leurs formes élégantes que par la modicité de leurs prix ; ces objets donnent lieu à une exportation considérable; le goût qui préside à leur ornementation en a fait de véritables *articles de Paris*. Les cristalleries de Saint-Louis et de Clichy ont suivi les mêmes errements et ont aussi beaucoup contribué à faire rechercher les verreries françaises sur tous les marchés du monde.

Verre opale. — Ce genre de verre translucide, à reflets jaunes et rougeâtres, d'un aspect chatoyant à la lumière artificielle, est plus facile à produire et à travailler avec le cristal qu'avec le verre sans plomb. Aussi les cristalleries françaises en fabriquent des quantités considérables, ce produit ayant acquis une grande importance pour les objets très-variés qui sont destinés à être peints. L'opalisation s'obtient en ajoutant à la composition du phosphate de chaux

en poudre, provenant de la calcination à blanc des tibias de mouton. La proportion d'os calcinés qu'il convient d'employer varie, d'après M. Didierjean, avec la nature de la composition. Quand le verre est très-chargé de silice, il peut dissoudre de grandes quantités de phosphate de chaux sans qu'il soit possible de produire l'opalisation, même par de nombreux réchauffages de la pièce dans le four. Si le verre est basique, de faibles quantités de cette matière suffisent pour obtenir ce résultat. Au moment du cueillage, le verre est transparent; c'est par le rechauffage des pièces, pendant qu'elles sont façonnées, que l'opalisation se développe.

Dans un verre à base de soude et de chaux, chargé d'alcalis, 9 à 10 pour 100 d'os calcinés suffisent pour donner un produit qui, transparent dans le creuset, s'opalise pendant le travail des pièces.

La composition suivante est employée dans quelques verreries :

Sable.	125
Salin calciné.	40
Carbonate de soude à 90°.	40
Phosphate de chaux	40

En ajoutant du minium, on obtient facilement l'opalisation avec 4 à 5 pour 100 de phosphate de chaux.

Dans plusieurs de nos cristalleries, on fait usage de la composition suivante

Sable.	600
Carbonate de potasse sec.	150
Minium.	450
Os calcinés.	48

En doublant la dose d'os calcinés, le verre devient opale dans le creuset.

Pour produire l'opale chatoyant, à reflets rougeâtres, la proportion de phosphate doit être faible : elle varie de 5 à 6; pour les objets destinés à la peinture, vases et autres pièces, elle est de 7 à 8; pour les cristaux d'éclairage, les abat-jours, les réflecteurs, etc., elle peut aller jusqu'à 10 pour 100 de la composition. L'addition de quelques centièmes d'acide arsénieux augmente l'opacité, tout en donnant à la composition une plus grande fusibilité.

L'opalisation est le résultat de la précipitation du phosphate de chaux dans le verre pendant son travail; c'est ce qu'on peut constater en traitant à froid du verre opale, réduit en poudre très-fine, par un acide très-dilué; on obtient ainsi une dissolution de phosphate de chaux.

Verre opalisé par le fluorure de calcium. — Depuis un certain nombre d'années, l'opale au phosphate de chaux, dont la fabrication remonte à une époque très-ancienne, se trouve en très-grande partie remplacé par l'opale au fluorure de calcium (spath fluor). Ce dernier verre n'a pas les reflets rougeâtres de l'opale ancién. Il convient beaucoup mieux pour les globes de lampe, les réflecteurs et les abat-jours; il est assez opaque pour diffuser la lumière de façon à masquer le point lumineux; il est d'un blanc de lait, et se rapproche plus du beau verre pâte de riz que de l'opale. Ce produit a été fabriqué pour la pre-

mière fois par M. Paris, maître de verrerie au Bourget. Dans cette sorte de verre le fluorure de calcium reste aussi en suspension dans la pâte vitreuse; on obtient ce produit en ajoutant au cristal 4 à 5 pour 100 de spath fluor réduit en poudre très-fine.

La composition à employer est la suivante :

Sable	100
Minium	32 à 35
Potasse	27 à 28
Spath fluor	14 à 16

La cryolithe (fluorure de sodium et d'aluminium), ajoutée en poudre très-fine, donne le même résultat que le spath fluor. Ce verre est difficile à travailler et sujet à se dévitrifier.

VERRES SEMI-OPAQUES. — Il est une sorte de verre connue sous le nom de *pâte de riz* ou de *verre d'albâtre* qu'on fabrique maintenant en très-grande quantité non-seulement dans les verreries mais aussi dans les cristalleries, bien qu'il soit toujours exempt de plomb. On en tire un excellent parti pour les objets de table et de toilette et aussi pour une multitude d'objets de fantaisie, montés sur cuivre, sur bronze doré ou sur bois.

Le verre d'albâtre a été d'abord produit par les Bohêmes. On n'y trouve que les éléments ordinaires du verre et sa composition ne diffère de celle

du verre allemand que par une quantité plus faible de chaux. Voici son analyse :

	1.	2.
Silice.	80,7	79,4
Potasse.	17,8	16,8
Chaux.	0,7	2,8
Alumine et oxyde de fer.	0,8	»
Acide phosphorique. . .	»	1,0
	100,0	100,0

1. Échantillon que j'ai analysé en 1845; je l'avais rapporté d'une fabrique de Bohême. J'y ai constaté la présence du sulfate de potasse.

2. Autre verre d'albâtre, analysé plus récemment par un chimiste allemand, M. Stein.

On n'est pas d'accord sur la cause qui amène le verre à cet état de semi-transparence. Les uns prétendent que c'est le résultat d'une vitrification incomplète; d'autres l'attribuent à des bulles de gaz emprisonnées dans la masse vitreuse ou à des sels neutres qui, en devenant libres, viennent troubler la transparence du verre ; d'autres à la précipitation d'une partie de la silice. Dans mon opinion, elle est due à un commencement de dévitrification, ainsi que j'ai eu occasion de le dire précédemment (page 49). Sans qu'il soit possible de produire à l'appui de cette hypothèse des preuves irrécusables, on doit admettre que si ce verre était le résultat d'une fusion incomplète, il serait rugueux, parsemé de grains de sable et de bulles d'un volume inégal; il est, au contraire, d'un grain très-fin et très-homogène quand il est bien réussi. Si sa formation était due à des sels neutres, il serait rempli de veines ;

d'ailleurs, avant de prendre, par un abaissement convenable de température, cet état particulier, la masse vitreuse est parfaitement fondue et affinée. Les conditions dans lesquelles la dévitrification se produit, en donnant naissance à un silicate autre que celui qui forme la masse vitreuse prise dans son ensemble, expliquent, à mon sens, la formation du verre dit *pâte de riz*. Je dois ajouter que les verres qui, par leur composition, sont rebelles à la dévitrification, sont impropres à le produire : parmi eux se trouve le cristal.

Pour fabriquer cette sorte de verre, il convient d'employer la potasse à bas titre; on y ajoute même souvent un peu de sulfate de potasse ou de chaux ; cette dernière base est elle-même un obstacle à la semi-opacité; aussi, certaines pâtes de riz, qui n'en contiennent pas, sont hygrométriques. On corrige ce défaut par l'addition de ce corps à très-faible dose sous formé de phosphate ou de sulfate. Il y aurait peut-être lieu de remplacer cette base par la magnésie; mais cet essai n'a pas été tenté.

La composition généralement employée pour ces verres est la suivante :

Sable bien lavé et pur.	100	kilogrammes.
Potasse hydratée à bas titre.	50 à 55	—
Chaux à l'état de phosphate ou de sulfate.	10	—

On ajoute quelquefois un peu de nitre pour brûler les substances organiques qui peuvent se rencontrer dans les matières employées.

Cette composition fond plus vite que celle du verre

fin ordinaire. Il importe de brusquer la fusion de la matière et de n'enfourner que quand le four est à une haute température; lorsque la composition est bien fondue et qu'on s'aperçoit que la matière devient transparente, il faut arrêter la fonte et laisser la température s'abaisser; ce sont les conditions les plus favorables à la cristallisation du verre, à la *dévitrification;* on sait, en effet, que le verre dévitrifié redevient transparent lorsqu'il est convenablement réchauffé; on s'appuyait même sur ce fait, ainsi que nous l'avons dit précédemment, pour lui attribuer la même composition qu'au verre normal.

Après le temps voulu pour rendre l'affinage bien complet, on travaille la *pâte de riz*, comme on le fait pour le verre fin ordinaire.

Verres pate de riz colorés. — Au moyen des oxydes métalliques, on obtient des colorations qui représentent une palette assez variée : celles que l'on produit le plus souvent sont les suivantes :

Bleu céleste. — 8 à 12 millièmes d'oxyde noir de cuivre ajoutés à la composition blanche indiquée ci-dessus; soit 800 à 1,200 grammes pour 100 kilogrammes de cette composition.

Chrysoprase ou vert perroquet. — Pour la même quantité de composition blanche 700 à 800 grammes d'oxyde d'uranium jaune (uranate d'ammoniaque) et 400 à 500 grammes d'oxyde de cuivre.

Bleu clair. — 75 à 80 grammes d'oxyde de cuivre pour 100 kilogrammes de composition.

Vert clair. — A la même quantité de cette composition, on ajoute 100 à 120 grammes d'oxyde jaune d'uranium et 60 à 70 grammes d'oxyde de cuivre.

Jaune citron. — 3 à 4 kilogrammes d'oxyde jaune d'uranium pour 100 kilogrammes de composition blanche et même davantage si on veut arriver à une nuance plus foncée.

Gris pigeon. — 1 gramme à 1gr,5 d'oxyde de cobalt suffisent pour colorer 100 kilogrammes de composition blanche.

Les nuances peuvent varier à l'infini, suivant les proportions des oxydes colorants. Pendant le travail, la température du four doit être maintenue bien régulière; autrement la dévitrification marche trop rapidement. Ce verre est peu malléable et se prête difficilement au travail de la presse. Aussi fait-on peu d'objets moulés en pâte de riz, à moins qu'ils ne soient façonnés au souffle ou au piston.

Émail. — Ce verre est produit au moyen de l'acide stannique ou de l'acide arsénieux que l'on met en suspension dans la pâte vitreuse ; c'est un verre très-basique, très-riche en plomb et fusible à une température peu élevée. Il est employé dans des conditions très-variées; on s'en sert pour recou-

vrir les plaques de cuivre pour les cadrans de pendule et de montre, et aussi les plaques de fer pour les noms des rues, les numéros des maisons, etc.; M. Paris, du Bourget, a beaucoup perfectionné ce dernier genre de produit qu'il emploie aussi pour faire des vases de jardin en fonte, avec dessins bleus sur fond blanc, imitant les anciennes faïences de Rouen : ces fontes émaillées résistent bien à l'action des agents atmosphériques. On fait en émail incolore ou coloré des tubes, des perles, des plaques dont on tire les petits cubes servant à faire les mosaïques en verre; cette matière entre dans la fabrication des verres doublés et triplés. Les abat-jour des lampes sont souvent en cristal blanc doublé d'émail.

L'émail servant à recouvrir la *poterie de fer* destinée aux usages de la cuisine, ne doit pas contenir trace d'acide arsénieux; son opacité est due à l'acide stannique. Pour cette poterie, l'émail ordinaire, lorsqu'il est trop chargé de plomb, présente lui-même de graves inconvénients; comme il est attaquable par les acides faibles, par le vinaigre, par le sel marin, les aliments préparés dans ces vases émaillés peuvent renfermer des sels de plomb, lesquels sont, comme on sait, vénéneux, même à très-faible dose. On a souvent signalé des empoisonnements produits par leur usage. M. Paris fabrique des poteries salubres avec une couverte en cristal transparent, résistant à l'action des acides et des alcalis. Chez MM. Dietrich et Cie, de Niederbronn, on émaille la poterie de fer au moyen d'un verre très-riche en silice, exempt de plomb et d'étain; l'opacité est donnée, comme dans

le verre d'albâtre, par un dépôt de silice ou de verre dévitrifié.

Pour faire des verres ou des cristaux à trois couches, l'émail blanc est indispensable.

L'un des procédés pour le préparer consiste à faire brûler à l'air un alliage formé de 15 parties d'étain et de 100 de plomb. On obtient ainsi une sorte de *potée d'étain* qu'on pulvérise, qu'on délaye dans l'eau, et dont on recueille, par décantation, les parties les plus ténues : c'est ce qu'on appelle la *calcine*.

On fond dans un creuset 200 parties de *calcine* avec 100 de sable et 80 de potasse purifiée.

L'analyse de trois échantillons d'émail a donné :

	N° 1.	N° 2.	N° 3.
Silice	31,6	36,0	30,0
Potasse	8,3	6,0	20,0
Oxyde de plomb	50,3	53,0	40,0
Oxyde d'étain	9,8	2,0	10,0
Acide arsénieux	»	3,0	»
	100,0	100,0	100,0

Voici, en outre, la composition d'un mélange d'émail et de fondants pour les cadrans de pendules. On prend :

Émail blanc (échantillon n° 3)	44
Sable blanc	25
Minium	25
Nitre	4
Cristal ordinaire	2
	100

Un procédé simple et économique pour obtenir l'émail blanc propre à la *doublure* ou à la *triplure* du cristal consiste à employer l'acide arsénieux à haute dose. Dans la plupart des cristalleries françaises on ne se sert plus guère que de l'émail préparé par ce procédé. On emploie :

Sable	100
Minium	55 à 60
Potasse	25 à 28
Os de mouton pulvérisés	10 à 12
Acide arsénieux	12 à 15

L'émail, bien fondu dans un grand pot de terre, peut être étiré en bâtons comme les verres de couleur; pour s'en servir, on le ramollit à l'ouvreau et les pièces sur lesquelles on le fait adhérer sont façonnées dans les conditions précédemment indiquées.

Verres colorés dans la masse. — Nous avons vu que les principales colorations sont produites par les oxydes de cobalt, de manganèse, de cuivre, de fer, d'uranium et de chrome; d'autres substances, notamment l'or, l'argent, le charbon et le soufre, sont aussi des matières colorantes pour le verre.

On distingue, comme pour les vitres de couleur, les verres teints dans la masse et les verres doublés ou à deux couches. On en fait, de plus, à trois et à quatre couches superposées, dans le but d'enlever ensuite par la roue du tailleur une partie de chacune de ces couches, et de produire ainsi

des effets de coloration très-variés. Ces mêmes verres, dont la masse principale est incolore ou colorée, ou bien en verre d'albâtre blanc ou de diverses nuances, peuvent, en outre, recevoir de la dorure et de la peinture avec des couleurs de moufle. On voit combien sont grandes les ressources dont le verrier dispose pour obtenir ces produits de luxe et de fantaisie.

J'indiquerai sommairement les moyens de produire les principales colorations.

Bleu foncé ou *bleu de roi.* — Pour 100 kilogrammes de composition blanche (verre ordinaire ou cristal), on ajoute 150 grammes d'oxyde de cobalt, ou bien 350 à 400 grammes de *safre,* ou $3^{kil.}$,500 à 4 kilogrammes de *bleu d'azur.*

Vert clair ou *vert bouteille.* — Cette couleur n'est guère employée dans la gobeleterie, sauf pour la fabrication des verres à vin du Rhin. Pour l'obtenir, on ajoute à la composition quelques centièmes de battitures de fer finement pulvérisées.

Vert foncé, vert jaunâtre. — On ajoute à 100 kilogrammes de composition blanche 250 grammes d'oxyde noir de cuivre et 100 à 150 grammes d'oxyde vert de chrome. Comme ce dernier est difficilement fusible et produit souvent dans la masse des taches vertes, on le remplace avec avantage par 250 grammes de bichromate de potasse.

Violet ou *améthyste*. — 2 kilog. à 2kil.,5 de bioxyde de manganèse et 4 kilog. à 4kil,5 d'azotate de potasse sont ajoutés à 100 kilogrammes de composition blanche.

Verre jaune, couleur d'ambre foncé. — Cette couleur s'obtient en ajoutant à 100 kilogrammes de composition neuve (exempte de plomb) 2 à 3 kilogrammes d'écorce de bouleau pilée. On peut aussi se servir de débris de cornes calcinées et réduites en poudre; mais la teinte est souvent noirâtre. On obtient également une belle coloration jaune au moyen de la fleur de soufre. La coloration du verre par le charbon ou par le soufre dépend beaucoup plus, d'après M. Didierjean, de la composition chimique du verre que de la quantité du principe colorant qu'on y ajoute. Pour un verre *basique*, il faut une moindre proportion de principe colorant que pour un verre *acide*, c'est-à-dire plus riche en silice. « C'est, dit M. Didierjean dans les notes qu'il m'a remises, la conséquence d'une loi générale qui ne se dément jamais en verrerie et qu'on peut formuler ainsi : toutes les fois qu'il s'agit de mettre en suspension dans une pâte vitreuse, soit des oxydes métalliques, soit d'autres corps, tels que l'acide arsénieux, l'acide stannique, le charbon, le soufre, etc., la coloration, l'opalescence ou l'opacité sont d'autant plus marquées, pour la même quantité du corps ajouté, que le verre est moins siliceux. »

« En ce qui concerne le charbon, quand le verre est acide, la couleur est d'un *beau jaune* plus ou moins orangé; si la quantité de silice est un peu

moindre, le jaune tire sur le *brun;* si le verre est basique, par le travail, au réchauffage des pièces, le charbon se précipite et se met en suspension dans la pâte vitreuse qui devient *noire.* »

« On a fait du verre jaune avec la composition suivante :

Sable.	150 parties.
Carbonate de soude à 90°, bien purifié et exempt de sulfate.	55 —
Carbonate de potasse à 15 pour 100 d'eau.	20 —
Chaux éteinte.	88 —
Écorce de bouleau pilée	4,5 —

« Le verre avait dans le creuset une belle couleur jaune, un peu orangée; mais par le travail, les pièces, réchauffées plusieurs fois, devenaient noires. »

« Avec la même composition, modifiée seulement en ce qui concerne le carbonate de soude, dont on a employé 40 parties au lieu de 55, le verre jaune obtenu ne s'altérait plus par le travail. »

« Le même résultat a été constaté en ce qui concerne la coloration du verre par le soufre. Ce corps, dans la proportion de 1 à 1,5 pour 100, donne au verre une belle couleur jaune orangé, analogue à celle que l'on obtient avec le charbon, mais beaucoup plus riche de ton et d'éclat. Si le verre est à base de soude et de chaux, la couleur est terne; avec le verre de potasse et de chaux, elle est très-belle. C'est d'ailleurs une propriété de la soude de donner du verre ayant beaucoup moins d'éclat que celui qu'on obtient avec la potasse; ce résultat est surtout très-sensible pour le verre jaune au soufre. »

La composition employée est la suivante :

Sable	150	kilogrammes.
Carbonate de potasse	75	—
Chaux éteinte	38	—
Soufre pilé	2,100	—

Comme pour le jaune fourni par le charbon, la composition doit être acide. Si elle est trop chargée de bases, au réchauffage des pièces, par le travail, le soufre se précipite dans la pâte vitreuse à l'état de *soufre noir;* avec une plus forte proportion de soufre (7 à 10 pour 100) ; au lieu d'un verre jaune, on obtient un verre noir. Ce produit, connu sous le nom de *hyalithe,* est fabriqué depuis longues années par les Bohêmes.

Bleu turquoise. — A 100 kilogrammes de composition blanche, on ajoute $1^{kil.},5$ à $1^{kil.},7$ d'oxyde de cuivre, provenant de la calcination du sulfate de cuivre.

Jaune d'urane ou verre dichroïde. — Le sesquioxyde d'uranium donne une couleur jaune avec reflets verdâtres d'une grande fraîcheur; cette couleur est la même que celle de l'azotate cristallisé et d'autres composés salins fournis par cet oxyde. On l'obtient en ajoutant à la composition blanche, 2,5 à 3 centièmes d'uranate de potasse ou d'ammoniaque. Le produit est plus beau avec les verres à base de potasse (exempts de plomb) qu'avec ceux dont la soude est le fondant. Le minerai d'uranium (pech-

blende), lavé et réduit en poudre fine, donne une teinte verdâtre, en raison de l'oxyde de cuivre qu'il renferme toujours en petite quantité. On produit aussi le *vert d'urane* par l'addition à la composition blanche de 2 millièmes et demi d'uranate jaune et de 2 millièmes d'oxyde de cuivre. M. E. de Fontenay a obtenu des verres jaunes dichroïdes en remplaçant l'oxyde d'uranium par l'uranite d'Autun (phosphate de sesquioxyde d'uranium et de chaux); mais ce minéral est trop peu abondant pour donner lieu à un emploi sérieux en verrerie.

Verre jaune. — Cette coloration s'obtient au moyen de l'argent. Ce n'est pas une couleur vitrifiable, car elle s'applique sans fondant; mais elle s'incruste, pour ainsi dire, et pénètre dans le verre à une certaine épaisseur.

Cette espèce de teinture est fort employée pour les verres et pour les cristaux, notamment pour les verres de Bohême; sur ce fond jaune, on fait des gravures légères qui ont le grand avantage de pouvoir être livrées à très-bas prix.

Les verres de Bohême prennent plus facilement la couleur jaune par l'argent que les verres français; ce qui paraît tenir à ce qu'ils contiennent dans leur composition un peu d'acide arsénieux et surtout à ce qu'étant moins fusibles, ils résistent mieux à la température de la moufle ; mais par l'addition de l'acide arsénieux on donne au verre, quelle que soit sa nature, les qualités voulues pour prendre facilement la couleur jaune. Cette coloration est proba-

blement due à une pellicule très-mince et transparente d'argent à l'état métallique.

Le composé d'argent dont on fait usage est le chlorure de ce métal; on le broie avec un excipient, qui est ordinairement l'oxyde rouge de fer; on ajoute au mélange du sulfure de cuivre et de l'acide stannique.

Voici les proportions :

Chlorure d'argent.	2 à 2,5
Oxyde de fer.	10
Sulfure de cuivre.	0,5
Acide stannique.	1,0

Ces matières sont broyées et appliquées au pinceau; quand elles sont sèches, on passe au feu de moufle; après refroidissement des pièces, on enlève le mortier au moyen d'une brosse.

Verre noir. — Cette couleur résulte d'un mélange de plusieurs oxydes métalliques, tels que les oxydes de cobalt, de cuivre, de fer et de manganèse; lorsque le verre est fortement chargé de bases, on peut faire le verre noir avec un seul de ces oxydes qui reste en suspension dans la pâte vitreuse. Si, au contraire, le verre est acide, c'est-à-dire très-riche en silice, il faut une quantité beaucoup plus considérable d'oxydes, et l'emploi de plusieurs de ces corps devient nécessaire.

Nous avons vu qu'avec le soufre on obtient aussi un beau verre noir, en se servant, bien entendu, d'un verre exempt de plomb.

Verre rouge opaque. — Le sesquioxyde de fer et le protoxyde de cuivre fournissent cette coloration dans un verre basique; avec ce dernier oxyde, la coloration est très-riche de ton, et peut être veinée de vert et de noir, lorsqu'on fait en sorte de suroxyder partiellement une partie du cuivre.

Verre vert opaque. — Le sesquioxyde de chrome, resté en suspension dans un verre basique, donne cette coloration; si le refroidissement est lent, on obtient l'aventurine verte de M. Pelouze, dont nous parlerons plus loin.

VERRES COLORÉS POUR DOUBLER OU TRIPLER LE VERRE BLANC. — On fabrique aujourd'hui en grande quantité des verres à plusieurs couches superposées, chaque couche ayant une coloration particulière. Au moyen de la taille, on enlève partiellement une ou plusieurs couches et on obtient ainsi des dessins très-variés sur un verre incolore, déjà coloré dans la masse ou émaillé soit intérieurement soit extérieurement.

Les *pâtes colorées*, étant destinées à être appliquées en couches très-minces, demandent une coloration très-intense et exigent, par conséquent, une forte proportion d'oxydes métalliques. D'un autre côté, ces verres doivent être plus doux, plus onctueux, plus ductiles que la masse vitreuse qu'ils doivent recouvrir, en offrant, ce qui est fort important, le même retrait lors du refroidissement de la pièce. On ajoute à la composition blanche indiquée précédemment quelques centièmes de minium; une partie

de la potasse y est introduite sous forme de nitre, dans le but de maintenir à leur maximum d'oxydation les oxydes colorants dont on fait usage.

Ces pâtes colorées se font dans de petits creusets qu'on laisse refroidir après fusion et dont l'intérieur est cassé en morceaux ; ceux-ci, bien épluchés, servent pour la doublure des pièces. On peut aussi les préparer dans de grands creusets; lorsqu'elles sont bien fondues et bien affinées on en fait des tubes massifs ou bâtons dont on fait provision pour ce genre de travail.

Voici la composition de ces verres colorés pour doublures :

Pour le *bleu foncé*, on ajoute à 100 de composition blanche 2 à 3 d'oxyde de cobalt bien pur; pour le *vert foncé*, 3 à 3,5 de bioxyde de cuivre et 3 de bichromate de potasse; pour le *violet améthyste*, 10 de bioxyde de manganèse, une partie de la potasse étant employée à l'état d'azotate; pour le bleu turquoise, 10 d'oxyde de cuivre provenant de la calcination du sulfate; ce verre doit être assez riche en alcalis.

Le *rouge de cuivre* est produit dans les mêmes conditions que celui des vitraux, dans des creusets de petite dimension. On mélange intimement quelques centièmes de battitures de fer porphyrisées avec du verre pilé : après fusion, on retire le creuset du four et on y ajoute une quantité suffisante d'oxyde de cuivre; on remet le creuset au feu et on brasse la matière avec un crochet en fer jusqu'à ce qu'elle soit bien homogène; puis on la laisse se raffiner.

On obtient aussi le verre rouge pour doublures en ajoutant à 100 de verre pilé 5 à 6 de potée d'étain qu'on mélange intimement avec 2 d'acide stannique et 2 de protoxyde de cuivre (oxyde rouge) ; ces deux dernières matières ont été broyées séparément. Le tout est fondu rapidement à une température très-élevée ; trois ou quatre heures suffisent pour la fusion de ce verre qui présente une couleur opaque, rouge de sang, qui est celle du verre *hématin* des anciens. On casse ce produit en petits fragments qu'on conserve pour servir de doublure. Quand la fonte ne réussit pas du premier coup, la matière est pilée et refondue de nouveau, jusqu'à ce qu'on arrive à la couleur qu'on veut obtenir. Ce procédé est celui que nous avons donné pour le verre pourpre des vitraux.

Ces fontes successives peuvent être évitées en ajoutant au verre ou au cristal pilé 1,5 pour 100 environ de protoxyde de cuivre et une très-petite quantité de battitures de fer. On fond et on coule en plaques. On obtient ainsi du premier coup un beau verre pourpre pour doublures.

Verre rubis. — Cette couleur est une sorte de peinture, cuite à la moufle. On fait une pâte composée de sulfure de cuivre, de battitures de fer et d'ocre rouge broyés avec de l'essence de térébenthine et on en couvre la surface du verre au moyen d'un pinceau. On cuit à la moufle ; la surface du verre présente, après cette première chauffe, une teinte rougeâtre avec des reflets verdâtres qui proviennent du cuivre fixé ; une deuxième cuisson, faite dans une

moufle dont l'atmosphère est rendue réductrice par les matières charbonneuses qu'on y introduit, donne au verre la couleur rouge due au protoxyde de cuivre, ou plutôt à ce métal devenu libre; mais, comme pour obtenir ce résultat, il a fallu ramollir la masse, celle-ci a fixé en même temps un peu de charbon très-divisé qui lui donne une couleur terne; on est obligé, pour rendre le brillant, de lui faire subir une troisième cuisson dans une atmosphère un peu oxydante ; on a soin de recouvrir préalablement d'ocre les surfaces rubinées afin de les soustraire à l'action trop énergique de cette atmosphère qui, sans cette précaution, effacerait la couleur rouge obtenue.

Le verre rubis est employé en Bohême pour faire des gobelets, des coupes sur lesquelles on grave à la roue des dessins représentant des animaux, des chasses, des vues de villes d'eaux minérales, etc. Le procédé, maintenu secret pendant longues années, est aujourd'hui pratiqué couramment dans nos cristalleries.

Verre rose. — Cette couleur, qui est fort belle, ne s'emploie que pour doubler; la composition du verre coloré doit être à peu près la même que celle des pièces sur lesquelles elle doit être appliquée.

La coloration est due à l'or qui s'y trouve à l'état métallique, dans un état d'extrême division. Le verre doré ne contient pas au delà de un millième d'or, et il n'entre lui-même que pour une faible quantité dans la pièce à doubler.

Pour l'obtenir, après avoir dissous de l'or pur

dans une quantité suffisante d'eau régale, on verse la dissolution étendue d'eau sur le sable qui doit entrer dans la composition du verre ou du cristal; on dessèche complétement le mélange dans une capsule de porcelaine, en ayant soin de le brasser avec une spatule de verre ou de grès ; puis on ajoute les fondants qui doivent compléter la composition; si celle-ci n'est pas du cristal, il est bon d'ajouter un peu de minium pour rendre le verre plus malléable et d'employer sous forme de nitre une partie de la potasse. Ces matières, étant bien mélangées, sont introduites dans un petit creuset qui est porté au four dont la température est très-élevée ; quelques heures suffisent pour la fonte et l'affinage. Le creuset est ensuite retiré et refroidi dans l'arche à recuire ; lorsqu'on le casse, on en sépare au marteau une masse incolore ou légèrement bleuâtre; on la divise en petits fragments qui, ramollis plus tard à la flamme de l'ouvreau, prendront immédiatement une très-belle couleur rouge.

Pour 1 kilogramme de composition, on a pris 1 gramme d'or. Si on n'a pas à sa disposition de l'or pur, on peut le préparer de la manière suivante : on fait dissoudre dans l'eau régale de l'or monétaire ; la liqueur est évaporée presque à siccité dans une capsule de porcelaine, reprise par l'eau, filtrée pour séparer la petite quantité d'argent (transformé en chlorure) que contient habituellement la monnaie ; un courant de gaz sulfureux en précipite l'or à l'état de pureté. On arrive au même résultat en faisant bouillir la liqueur, dans un matras en verre,

avec de l'acide arsénieux, après qu'elle a été évaporée presque à siccité, étant fortement acidulée par l'acide chlorhydrique.

L'or qu'on obtient ainsi est lavé par décantation et séché ; il est ensuite redissous dans l'eau régale. Une pièce d'or de 20 francs, pesant 6gr.,450, doit donner 5gr.,800 de métal pur.

Le verre rose s'obtient également au moyen de la dissolution d'or dans l'eau régale qu'on mélange avec le produit qui résulte de l'action de l'acide azotique sur l'étain. Les deux liqueurs sont versées sur le sable en opérant comme il a été dit ci-dessus. On se sert aussi, pour le même objet, du *pourpre de Cassius*. On ne se rend pas bien compte du rôle utile que l'oxyde d'étain peut avoir dans cette préparation.

L'addition au mélange d'une quantité infiniment petite d'oxyde de cobalt fournit la teinte un peu violacée des feuilles de roses.

L'intensité de la couleur est en raison de la proportion d'or employée. Pour doubler des verres opales ou pâte de riz, ou bien pour tripler sur émail, on a besoin d'un rose très-clair. Dans ce cas, on n'introduit dans la composition que un demi-millième et même que un dix-millième d'or.

Lorsque le cristal doré est longtemps chauffé, étant convenablement ramolli, il prend d'abord la couleur rouge, puis il se décolore partiellement et il présente, après refroidissement, une teinte bleuâtre avec des paillettes très-fines d'or brillant ; on fait avec ce produit des objets de bijouterie qui ont eu

dans ces derniers temps une certaine vogue, en raison peut-être de leur nouveauté.

La fabrication des pièces colorées en rose ou en rouge groseille exige des soins particuliers. On fait, d'une part, une paraison de cristal ordinaire, à laquelle on fait adhérer un petit fragment de cristal aurifère; en ramollissant ce verre à l'ouvreau, la couleur rouge se développe; on le rabat avec les fers, on l'étend et on l'égalise sur la paraison.

D'autre part, on a cueilli, avec une autre canne, du cristal ordinaire dont on fait aussi une paraison sur laquelle on fait adhérer celle à deux couches qu'on vient de façonner; après qu'elle a été convenablement ramollie à l'ouvreau, on l'étend, et on la rabat, comme un champignon, avec les pinces. On a ainsi une pièce composée de trois couches; celle du milieu est aurifère. La pièce est alors terminée par les procédés ordinaires. Par la taille, on entame plus ou moins la couche aurifère, et on obtient ainsi des cristaux blancs avec des dessins rouges ou roses. En opérant ainsi, la couche d'or se trouve garantie d'une fusion qui amènerait l'or à l'état de petits globules offrant l'aspect métallique. Dans le but d'obtenir le même retrait, on se sert, comme nous l'avons dit, de cristal ayant la même composition.

Pour les autres verres doublés, on procède autrement: on souffle une petite paraison de cristal coloré, qu'on allonge et qu'on étire avec les fers, de manière à lui donner la forme d'un cylindre épais; celui-ci,

étant ouvert à son extrémité, est évasé et coupé avec un fer froid; on en sépare une pièce conique, ouverte des deux bouts, qu'on pose sur un support creux en fer; on introduit dans l'intérieur de ce cône une paraison de cristal incolore; l'adhérence étant produite, on réchauffe à l'ouvreau et le verre coloré est réparti uniformément sur la surface du verre blanc. La pièce, ainsi doublée, est terminée par les moyens ordinaires.

Verre craquelé. — Les verres ou cristaux incolores ou colorés qu'on désigne sous ce nom présentent, sur leur superficie, des dessins irréguliers formant saillie, de la même couleur ou d'une autre couleur que celle de la masse. Leur fabrication, faite d'abord en Bohême, est fort simple : quand la paraison est faite, on la promène sur une plaque de fer sur laquelle on a répandu du verre concassé en fragments irréguliers. Ce verre adhère à la masse vitreuse. On réchauffe la pièce, on la pare avec les fers, on la souffle et on en termine la façon par les procédés habituellement employés.

TAILLE ET GRAVURE DES VERRES ET DES CRISTAUX.

On se sert, pour tailler le verre, de quatre espèces de meules verticales, qu'on désigne sous le nom de *roues :* 1° d'une roue en fer ou en fonte douce ; 2° d'une roue en pierre de grès ; 3° d'une roue en bois ; 4° d'une roue en liége.

Un *atelier* ou une *compagnie de tailleurs* se com-

pose de trois ouvriers : ce sont l'*ébaucheur*, le *tailleur* et le *polisseur*.

L'ébaucheur est ordinairement le chef de la compagnie ; il est chargé de préparer le dessin qu'on veut exécuter et de dégrossir la pièce ; le dégrossissage s'obtient au moyen de la roue en fer, mise en mouvement soit par une pédale, soit par un moteur hydraulique ou par une machine à vapeur. La taille au pied n'existe plus guère aujourd'hui que dans les établissements de peu d'importance. La roue en fer, qui se meut verticalement, est surmontée d'un entonnoir conique, rempli de sable fortement mouillé, de manière à former une sorte de bouillie, que l'ouvrier fait couler sur la roue et qui est entraînée par le mouvement de rotation. L'ébaucheur applique sa pièce sur la roue, de manière à ce que le sable vienne s'interposer entre les deux surfaces ; il se produit un frottement et par suite une usure, le sable ayant une dureté bien supérieure à celle du verre.

Le second ouvrier, le tailleur, prend cette même pièce qu'il présente à une roue en grès ; il enlève ainsi toutes les aspérités produites par le sable. Cette opération terminée, le dessin n'est plus rugueux ; il est uni, mais peu brillant ; il passe entre les mains d'un troisième ouvrier, le polisseur, qui, par le contact de la pièce avec une roue en bois tendre (ordinairement en peuplier ou en saule), préalablement couverte d'une bouillie de pierre ponce, donne un poli assez brillant ; pour lui donner plus d'éclat, un autre polisseur fait agir sur la pièce une roue en liége, avec de la potée d'étain ou du colcotar. Ces

opérations donnent à la surface taillée un brillant parfait.

Pour les objets de lustrerie, dont l'éclat doit être très-vif, on emploie, pour terminer le travail, une roue composée d'un alliage de plomb et d'étain ; on se sert, en même temps, de la pierre ponce, de la potée d'étain ou du colcotar.

Les roues ont des diamètres et des épaisseurs qui varient à l'infini avec le genre de dessins qu'on veut obtenir.

Gravure. — On grave sur le verre par des moyens analogues à ceux qui servent à le tailler; la gravure n'est autre chose qu'une taille qui demande des ouvriers plus habiles, de véritables artistes, pouvant exécuter les dessins les plus riches et les plus délicats.

Le graveur se sert de roues verticales de très-petite dimension. Tandis que celles du tailleur ont quelquefois un diamètre de 50 centimètres et plus, le graveur n'emploie guère que des roues de 5 à 6 centimètres, et qui vont en diminuant, si bien que certaines de ces roues ont à peine la grosseur d'une tête d'épingle.

Les roues sont en acier, en cuivre, en grès et en alliage de plomb et d'étain ; le mordant dont se sert le graveur est l'émeri en poussière très-fine ; pour le polissage, il emploie la potée d'étain. Le tour dont il fait usage, n'exigeant qu'une très-faible dépense de force, est mis en mouvement par le pied.

DORURE ET PEINTURE. — La dorure sur le verre,

ainsi que la peinture, s'obtiennent par des moyens identiques à ceux dont on se sert pour dorer ou peindre la faïence et la porcelaine; mais, comme les produits vitreux sont infiniment plus fusibles que les produits céramiques, il faut que les proportions de fondants que l'on ajoute à l'or ou aux oxydes colorants soient beaucoup plus considérables.

Pour préparer l'or, on le dissout dans l'eau régale et on ajoute à la liqueur filtrée une dissolution de sulfate de protoxyde de fer, ou bien d'azotate de protoxyde de mercure : ce dernier procédé est celui qu'on emploie le plus souvent, le métal étant plus divisé et, au dire des décorateurs, foisonnant davantage.

Après sa précipitation, l'or est lavé soigneusement et séché au bain-marie; on l'applique au pinceau après qu'il a été préalablement broyé sur une plaque de verre avec une molette également en verre. Ce broyage se fait avec l'essence de térébenthine; on y ajoute le *fondant*, qui est un mélange de minium et de borax sec, dans les proportions approximatives qui suivent :

Pour 10 grammes d'or, on emploie :

Minium	1g,0 à 1g,3
Borax.	0, 2 à 0, 3

Ce mélange est additionné d'un peu d'argent à l'état de chlorure sec, soit 0g,1.

La dorure étant appliquée sur la pièce au moyen du pinceau, celle-ci est séchée à l'étuve; elle est ensuite cuite au feu de moufle.

Verres façon de Venise. — La fabrication des verres filigranés, rubanés, à bulles d'air, des *millefiori*, etc., florissait à Venise au xv[e] siècle. On trouve, dans les collections, d'anciens verres vénitiens dont la perfection a été rarement atteinte par nos fabricants.

Verres rubanés. — On se procure un assortiment varié de petits tubes pleins en émail ou en cristal colorés. La fabrication de ces tubes est facile. Je suppose qu'on ait à faire un tube bleu dont la section doit présenter une étoile blanche : dans un moule plat en fonte, préalablement chauffé, et dans lequel une étoile se trouve gravée en creux, on fait tomber une petite quantité d'émail blanc fondu, qui ne remplit que le creux du moule.

Avec une paraison de verre bleu, on fait adhérer à ce verre l'étoile ainsi moulée. La pièce est parée et tirée avec les fers de manière à former un gros cylindre qu'on ramollit et dont on soude le bout à un pontil; deux ouvriers, tenant chacun à leur pontil l'un des bouts du cylindre, s'éloignent rapidement; le cylindre se trouve changé à l'instant en un tube plein et mince de 10 à 15 mètres de longueur, bleu à l'extérieur, avec une étoile blanche dans sa partie centrale. Des tubes ainsi façonnés, avec dessins à l'intérieur, sont employés pour fabriquer les *millefiori*.

On comprend qu'on peut obtenir ainsi des dessins très-variés ; vient-on, par exemple, à appliquer sur le cylindre, avant son étirage, un ou plusieurs fils d'émail coloré qu'on tourne en spirale, le dessin qu'on produit conserve sur le tube la même disposition.

Pour faire, par exemple, un gobelet en verre rubané, des tubes en émail coupés de longueur, assortis d'après leur coloration et rangés en nombre convenable, sont posés, les uns à côté des autres, sur une plaque horizontale en terre, à rebords, frottée avec de la chaux pour éviter l'adhérence ; on roule sur leur surface une paraison de cristal sur laquelle ces tubes se collent.

Le même résultat s'obtient en plaçant verticalement les tubes dans un pot en terre; on introduit dans le pot et on y souffle une paraison de cristal. L'adhérence des tubes étant obtenue, la pièce se travaille à la même façon ordinaire; préalablement ramollie à l'ouvreau, elle est égalisée avec les fers, soufflée, etc. On obtient ainsi des gobelets rubanés ou filigranés, avec dessins droits ou à spirales. Ces derniers se produisent en imprimant à la pièce, saisie à son extrémité avec les pinces, un mouvement de torsion.

Serre-papiers en millefiori. — Ces boules demi-sphériques, en verre plein, dans lesquelles on voit comme une quantité de petites fleurs présentant des couleurs très-vives, ont été d'abord fabriquées à Venise et en Bohême. Devenues pendant quelques années un objet de mode en France et en Angleterre, elles ont été faites en très-grand nombre et avec beaucoup plus de perfection par nos fabricants de cristaux.

De petits morceaux de tubes en émail, avec dessin intérieur, sont coupés de longueur avèc une

espèce de hache-paille ; on les chauffe au rouge sur une plaque de terre pour émousser leurs angles ; puis on les loge, en les assortissant, dans les nombreuses cavités que présente un disque épais en fonte.

En appliquant sur ce disque une paraison de cristal ordinaire qu'on enlève aussitôt, tous ces petits morceaux d'émail restent collés au verre. On pare la pièce, on l'aplatit, et, le pontil reposant sur le sol, on fait couler sur sa surface horizontale le cristal nécessaire pour la couvrir et pour faire la boule; celle-ci est arrondie avec une spatule concave en bois mouillé. Le serre-papiers est alors séparé du pontil, soigneusement recuit et poli par-dessous à la roue de tailleur.

Dans cette fabrication, on évite avec grand soin d'emprisonner des bulles d'air; le cristal doit être parfaitement affiné, bien exempt de stries qui déformeraient les images, lesquelles se trouvent amplifiées par l'épaisseur que présente la masse vitreuse.

Aventurine. — Le verre qu'on désigne sous ce nom, soit à cause de sa ressemblance un peu lointaine avec le quartz aventurine, soit parce que sa découverte a été faite par hasard, *par aventure*, est aussi d'origine vénitienne; sa fabrication se fait à Murano, dans deux ou trois verreries, à l'aide de procédés qu'on tient secrets. Aussi ce verre, dont on ne fait à dessein qu'une petite quantité, se maintient au prix élevé de 10 à 20 francs le kilogr., selon la qualité.

L'aventurine est un verre jaunâtre, dans lequel se trouve disséminée une infinité de petits cristaux

tétraédriques très-nets et très-brillants; ce sont des cristaux de cuivre, de protoxyde de cuivre ou de silicate de cet oxyde. Lorsqu'il est poli, il offre, à la lumière surtout, un aspect chatoyant qui le fait employer dans la bijouterie.

Ces cristaux se sont produits au sein de la matière vitreuse quand elle était à l'état liquide. Comme parmi les nombreux éléments qui composent ce verre on rencontre le cuivre, le fer et l'étain, il est très-probable que c'est à la réduction de l'oxyde de cuivre par ces deux derniers métaux qu'on doit attribuer cette cristallisation.

Beaucoup de tentatives ont été faites pour découvrir le tour de main sur lequel repose cette fabrication. Un habile chimiste, M. Hautefeuille, est arrivé, par des essais persévérants, à fabriquer ce verre en assez grande quantité; il a publié dans le bulletin de la Société d'encouragement (octobre 1860) un mémoire dans lequel il indique libéralement les procédés qu'il a suivis.

L'aventurine a été souvent analysée ; voici la composition de quelques échantillons :

	1.	2.	3.	4.
Silice	65,2	67,7	60,5	60,4
Acide stannique	traces.	2,3	»	2,5
A reporter . . .	65,2	70,0	60,5	62,9

1, Analyse de M. Wöhler, faite en 1842.
2. Aventurine de Bigaglia, de Venise, que j'ai analysée en 1845.
3. Échantillon de fabrication plus récente. Analyse de M. Levol.
4. Analyse de l'aventurine rose du commerce, par M. Hautefeuille. C'est la composition dont il faut se rapprocher le plus, d'après ce chimiste.

Report.	65,2	70,0	60,5	62,9
Acide phosphorique. . .	1,5	traces.	»	traces.
Acide borique	traces.	traces.	»	traces.
Cuivre.	3,0	3,9	4,8	4,0
Sesquioxyde de fer. . .	6,5	3,5	3,7	2,5
Chaux.	8,0	8,9	6,8	8,6
Magnésie.	4,4	traces.	»	»
Soude.	8,3	7,1	22,0	11,3
Potasse	2,1	5,5		5,7
Oxyde de plomb	»	1,1	»	0,7
Oxyde de manganèse. .	»	»	»	0,2
Alumine.	traces.	»	2,2	3,7
Acide sulfurique. . . .		»	traces.	»
	99,0	100,0	100,0	99,6

Dans les analyses 3 et 4, le cuivre, l'étain et le fer sont calculés à l'état de protoxyde.

D'après M. Hautefeuille, on obtient l'aventurine en fondant l'un des mélanges suivants :

Nº 1.	Glace de Saint-Gobain. . . .	2000
	Nitre.	200
	Battitures de cuivre.	125
	Peroxyde de fer.	60
Nº 2.	Sable.	1500
	Craie.	357
	Carbonate de soude sec. . . .	801
	Carbonate de potasse.	143
	Nitre.	200
	Battitures de cuivre.	125
Nº 3.	Verre à vitre blanc.	1200
	Sable.	600
	Carbonate de soude	650
	Nitre	200
	Battitures de cuivre.	125

Quand le verre est bien liquide, on ajoute 38 parties de fer ou de fonte en tournure fine

enveloppée dans du papier; on les y incorpore en maclant le verre au moyen d'une tige de fer rougie. Le verre devient rouge de sang, opaque, et en même temps pâteux et bulleux; on arrête le tirage du fourneau, on ferme le cendrier, on couvre de cendres le creuset muni de son couvercle, et on laisse refroidir très-lentement. Le lendemain, en cassant le creuset, on trouve l'aventurine formée.

On obtient ainsi, à chaque opération, du verre parsemé de cristaux. Néanmoins le produit commercial est difficile à produire, à cause de la répartition irrégulière de ces cristaux dans la masse. Celle-ci est tantôt trop veinée, tantôt cristallisée trop finement, quelquefois trop chargée de bulles qui donnent à la taille des points et des cavités.

On admet géneralement que, dans ce verre, les cristaux sont du cuivre à l'état métallique. Cependant, d'après M. Levol, ce métal s'y trouverait sous forme de silicate de protoxyde. Ce chimiste a constaté qu'en traitant l'aventurine en poudre par une dissolution bouillante de potasse, elle se dissout complétement; si on s'arrête au moment où la masse vitreuse est seule dissoute, on obtient un résidu violet qui verdit à l'air; et si, après avoir recueilli les cristaux, on les traite par un sel mercuriel, ils ne deviennent pas blancs, ainsi que cela arriverait si le cuivre s'amalgamait avec le mercure, ce dernier métal devant se précipiter en présence du cuivre. Comme ils ne changent pas de couleur, M. Levol et M. Hautefeuille admettent que ces cristaux sont formés de silicate de protoxyde de cuivre.

Cette conclusion ne semble pas se concilier avec le fait suivant observé par M. Hautefeuille : la matière cristallisée de l'aventurine est soluble dans l'ammoniaque ; la dissolution, qui est incolore, devient bleue au contact de l'air. Ce sont là les caractères du cuivre et du protoxyde de cuivre. Il n'est pas vraisemblable que le silicate formé par cet oxyde, s'il existe, soit soluble dans l'ammoniaque.

Les verres de cuivre ont été étudiés récemment par M. Pettenkofer et par M. P. Ebell [1]. Le premier de ces chimistes s'est particulièrement occupé du verre hématin (hématinone des anciens) qu'il est arrivé à reproduire ; il a constaté que le flux rouge brun qui le produit ne passe à l'état de verre rouge opaque que par une opération subséquente qui consiste à le chauffer longtemps jusqu'à son point de ramollissement : il en est de même pour l'aventurine ; la matière fondue est sans paillettes cristallines et c'est pendant le refroidissement que les cristaux apparaissent. La formation de ces deux verres serait due, d'après lui, à la cristallisation d'un silicate de protoxyde de cuivre ; il admet que dans la matière récemment fondue ce corps est à l'état amorphe. Dans le verre pourpre des vitraux, ce silicate existerait également, mais en cristaux tellement petits qu'ils ne sont pas visibles, même au microscope.

1. *Revue scientifique*, du docteur Quesneville. Février 1875.

Le verre hématin des anciens s'obtient en fondant du cristal avec 9 pour 100 d'oxyde de cuivre et de battitures de fer, de manière à produire un flux de couleur hépatique, aussi homogène que possible, qu'on laisse se solidifier et qu'on expose ensuite pendant plusieurs heures à la température à laquelle ce verre commence à se ramollir : c'est par ce réchauffage prolongé que se développent la couleur rouge et l'opacité du verre. L'examen microscopique de l'hématinone de Pettenkofer, fait avec un fort grossissement, a montré à M. Ebell que ce verre doit sa couleur et son opacité à un précipité cristallin, très-abondant, qui paraît être le même que celui de l'aventurine, avec cette différence que dans celle-ci les cristaux sont beaucoup plus volumineux et relativement clairsemés.

L'hématinone est le produit d'une cristallisation dans un verre demi-mou et presque solide ; l'aventurine est formée par les cristaux abandonnés par un verre liquide : lorsque ces cristaux sont formés, le verre ne contient plus de cuivre disponible, de sorte que, pendant un refroidissement lent, il ne se produit pas d'hématinone.

M. Ebell a cherché à établir que, conformément à l'opinion de M. Wœhler, l'aventurine renferme le cuivre à l'état métallique : pour démontrer la véritable nature des cristaux, il fallait trouver, dit-il, un réactif tel que, tout en offrant un indice certain de la présence du cuivre métallique, ce réactif rendît impossible l'altération de ce métal. Une solution de nitrate d'argent dans l'alcool absolu présente, d'après

lui, cette propriété. De l'aventurine en poudre très-fine est mise en contact avec cette solution pendant plusieurs jours ; le liquide, acidulé et évaporé à siccité, se colore franchement en bleu par l'ammoniaque. Le résidu de la filtration contient une certaine quantité d'argent précipité. « Il est donc certain, ajoute l'auteur, que la solution alcoolique d'argent dissout du cuivre, tandis que de l'argent métallique se précipite dans la poudre vitreuse. Les cristaux de l'aventurine ne peuvent donc être que du cuivre métallique. »

Cette conclusion ne me paraît pas rigoureuse : j'ai constaté, en effet, en répétant cette expérience, que le protoxyde de cuivre précipite également l'argent de ses dissolutions, le cuivre prenant dans la liqueur la place de ce métal. Le résultat est donc le même, que les cristaux soient du cuivre ou du protoxyde de cuivre; si le silicate de ce dernier oxyde existe, il est assez probable qu'il agirait de la même façon sur la dissolution d'argent.

La question reste donc indécise, à mon sens; néanmoins, à défaut de preuves directes, il est fort vraisemblable que le cuivre métallique, de même que l'or et l'argent, possède la propriété de se dissoudre dans les matières vitreuses en leur donnant, comme aussi le soufre et le charbon, une coloration particulière. Je ne suis pas convaincu, d'ailleurs, qu'à l'état de couche extrêmement mince, l'hématinone ne soit pas aussi la matière colorante du verre pourpre des vitraux ; quant à l'aventurine, ce produit renferme le cuivre dans les conditions qui donnent également naissance à la cristallisation de divers oxydes dans

les flux, conditions étudiées par Ebelmen et tout récemment par M. Ebell pour les oxydes d'étain, de chrome, de fer, de manganèse et d'aluminium.

Aventurine de chrome. — Cette sorte de verre a été obtenue, en 1865, par M. Pelouze. On sait que le sesquioxyde de chrome communique une couleur verte aux fondants et particulièrement au verre ; le bichromate de potasse jouit de la même propriété, en produisant du sesquioxyde; ce corps, lorsqu'il est en quantité suffisante, donne tout à la fois la coloration verte transparente et les cristaux qui restent en suspension dans la masse vitreuse.

On obtient ce produit en fondant :

Sable	250 parties.
Carbonate de soude.	100 —
Spath calcaire.	50 —
Bichromate de potasse	20 à 40

Ce verre contient 6 à 7 pour 100 d'oxyde de chrome dont la moitié à peu près est combinée avec le verre et l'autre moitié reste à l'état de liberté, sous forme de cristaux brillants. Avec 50 parties de bichromate de potasse, la fusion du verre devient très-difficile.

L'aventurine de chrome est plus dure que le verre à vitre et surtout que l'aventurine de Venise ; comme cette dernière, elle peut être employée pour faire des bijoux et des objets de fantaisie.

STRASS. — *Imitations du diamant et des pierres pré-*

cieuses. — Ce verre, très-riche en plomb, a été produit à Paris, vers la fin du siècle dernier, par un artiste qui lui a donné son nom. Il a beaucoup d'éclat; il possède à un tel degré les *feux* du diamant, surtout à la lumière, qu'il est fort difficile de l'en distinguer à la vue. Mais il est très-tendre; il est rayé non-seulement par les pierres dures, mais même par les autres espèces de verres. Sa densité dépasse 4.0, tandis que celle du diamant est représentée par 3.5.

Voici la composition du strass de M. Douault Wieland, déterminée par M. Dumas :

Silice	38,2
Oxyde de plomb	53,0
Potasse	7,8
Alumine	1,0
Borax	traces.
Acide arsénique	Id.
	100,0

Les matières premières qu'on emploie pour faire le strass sont les mêmes que pour le cristal et le flint-glass. On les choisit aussi pures que possible.

Par l'addition d'une petite quantité d'oxydes colorants, le strass prend des colorations qui le font employer pour imiter les principales pierres précieuses. Ainsi on obtient la *topaze* artificielle en fondant 1,000 de strass blanc avec 40 de verre d'antimoine et 1 de pourpre de Cassius; le *rubis*, avec le même verre, longtemps chauffé et contenant un peu plus d'or; l'*émeraude*, avec 1,000 de strass incolore,

8 d'oxyde de cuivre et 0.2 d'oxyde de chrome; le *saphir*, avec 1,000 de strass et 15 d'oxyde de cobalt; l'*améthyste*, en fondant 1,000 de strass avec 8 d'oxyde de manganèse, 1 d'oxyde de cobalt et 0.2 de pourpre de Cassius.

Plusieurs artistes de Paris, notamment MM. Savary et Mosbach, MM. Appert et M. Ch. Feil, ont amené à un haut degré de perfection ces imitations de pierres précieuses.

Perles de verre. — On fabrique à Venise de petites perles dites *rassades* ou *rocailles* qu'on exporte en très-grande quantité en Afrique et en Amérique et qui sont surtout destinées au trafic avec les Indiens. Les dispositions des fours et des creusets n'ont rien de particulier; les matières premières sont la soude, la potasse et un sable siliceux qu'on trouve en grande abondance sur la côte la plus voisine de Venise.

Le travail se fait de la manière suivante : un ouvrier cueille avec sa canne une certaine quantité de verre et, à l'aide d'un instrument en fer, il pratique dans sa paraison une large ouverture; un second ouvrier applique contre ce trou l'extrémité d'une canne également garnie de verre et tous deux s'éloignent rapidement l'un de l'autre : la pâte vitreuse se transforme en un tube d'abord, puis en un fil percé d'un bout à l'autre et plus ou moins gros, selon la longueur du chemin parcouru par les ouvriers : on casse ces fils par baguettes d'environ 50 centimètres qui passent entre les mains de l'ouvrier *margaritaire*. A l'aide d'un couperet, celui-ci divise le tube en

petits morceaux d'une longueur égale au diamètre; ces morceaux tombent dans un baquet plein d'une poussière de charbon et d'argile qui, s'introduisant dans les trous des perles, s'opposent à ce qu'ils se bouchent lorsque, pour les arrondir et en abattre les angles coupants, on les ramollit au feu.

Cette même opération se fait aussi en promenant, sur une rangée de limes parallèles et fixes, les petits tubes de manière à entamer légèrement le verre qui se détache ensuite par un léger choc. Les perles sont arrondies soit en les mettant dans un cylindre en fer de forme ovale qu'on tourne sur le feu à la manière d'un brûloir à café, jusqu'à ce que ce cylindre devienne rouge, soit en les chauffant sur des plaques de tôle : elles sont ensuite lavées et assorties en les passant à travers des cribles ayant des trous de différents diamètres, puis enfilées par rangs de 25 à 35 centimètres de longueur[1].

Les perles dites *à la main* sont fabriquées à la lampe d'émailleur : le verre fondu est roulé autour d'un morceau d'acier; les perles qu'on en sépare et dont on arrondit les angles sont plus grosses et plus solides que les rassades.

On imite aujourd'hui avec une si rare perfection les perles fines, notamment celles dites *baroques*, qu'il n'est pas possible à l'œil le plus exercé de distinguer les vraies d'avec les fausses. Cette fabrication, essentiellement parisienne, est due à un artiste

1. *Les Merveilles de l'Industrie de M. L. Figuier. Le verre et le cristal.*

nommé Jacquin; elle remonte à l'année 1686. De petites ampoules percées sont soufflées à la lampe d'émailleur et prises dans des tubes de cristal opalisé; enduites à l'intérieur de colle de gélatine chaude, elles sont injectées avec la matière nacrée provenant des écailles de *l'ablette*. Cette matière, qu'on conserve dans l'ammoniaque, est préalablement délayée dans de la colle de poisson; la perle est ensuite remplie de cire blanche fondue.

Mosaïques. — Le marbre, les pierres, les émaux, employés sous forme de petits cubes accolés les uns contre les autres, servent à faire des dessins, des peintures qui, depuis un temps immémorial, jouent un rôle important dans la décoration des édifices. L'art du *mosaïste* était pratiqué par les Égyptiens, qui l'ont transmis aux Grecs et aux Romains. Plusieurs écrivains de l'antiquité, Martial, Lucrèce, Pline, en font mention.

Sous les empereurs, les voûtes et le pavé des temples en étaient ornés; on rencontre des pavés en mosaïque dans presque toutes les habitations que les fouilles mettent à jour à Pompéi et à Herculanum. L'invention du verre coloré donna à cet art son plus grand degré de perfection : on commença à s'en servir du temps d'Auguste. Sénèque, faisant allusion à cet emploi des verres colorés, se plaignait de ce qu'on ne marchait plus que sur des pierres précieuses.

Les mosaïques en verre prirent sous le Bas-Empire une importance exclusive pour la décoration

des monuments : elles remplacèrent même entièrement la peinture; on sait qu'elles décoraient les voûtes de Sainte-Sophie, à Constantinople. Les anciennes églises de Saint-Paul hors les murs et de Saint-Jean-de-Latran, à Rome, celle de Saint-Marc, à Venise, offrent de remarquables exemples de leur emploi à diverses époques. Ces mosaïques représentent des figures ou des arabesques sur des fonds d'or. La plupart des églises construites par Charlemagne présentent aussi ce genre d'ornementation.

Dans les temps modernes, les plus belles mosaïques sont celles dont le pape Clément VIII décora au commencement du XVIIe siècle toute la partie intérieure de la coupole de Saint-Pierre de Rome ; aujourd'hui les tableaux des autels, même ceux de Raphaël, y sont remplacés par des copies en mosaïque. Les papes entretiennent dans les bâtiments du Vatican une fabrique d'émaux qui fournit les matériaux nécessaires à la restauration des mosaïques d'un grand nombre d'anciens édifices chrétiens.

C'est probablement à l'art fort ancien du mosaïste, issu peut-être lui-même de l'imitation des riches tapis de l'Orient, qu'il convient de rattacher la confection des premiers vitraux en verres colorés : dans les premiers siècles de l'ère chrétienne, le verre avait une telle vogue qu'on en couvrait les plafonds, les murailles et jusqu'au parquet des habitations; comme il est établi désormais que les Romains se servaient, du moins au temps des empereurs, de vitres pour clore leurs fenêtres, quelque artiste arriva

sans doute à remplacer le verre blanc par le verre coloré et les vitres d'un seul morceau par de véritables mosaïques transparentes : tels étaient, en effet, les premiers vitraux.

Les mosaïques sont de plusieurs sortes ; en laissant de côté celles qu'on fabrique pour les bijoux, les plus communes font partie de la construction même de l'édifice : ce sont les dallages en pierre, en marbre, ou en poterie de diverses couleurs qui recouvrent la surface des paliers, des corridors, des salles, etc. Nous n'avons pas à nous en occuper.

L'autre espèce de mosaïques est composée dans l'atelier de l'artiste ; elle constitue un œuvre d'art analogue à la peinture et, comme la peinture, elle est employée pour décorer les voûtes et les murs. Ces mosaïques sont en émail. Voici, en quelques mots, comment ce travail s'exécute :

La matière vitreuse opaque, l'émail, est sous forme de disques ayant 10 à 15 centimètres de diamètre et de 1 à 3 centimètres d'épaisseur. Au moyen d'un marteau coupant des deux côtés et d'une enclume taillée en biseau, on casse et on débite ces pains d'émail et on en tire des cubes ayant environ 1 centimètre et demi de côté. La coloration de ces émaux est extrêmement variée ; ceux qui viennent de Rome, de la fabrique du Vatican, présentent 26,000 nuances différentes.

L'artiste peintre a tracé et colorié sur un carton le dessin que doit reproduire le mosaïste ; celui-ci dispose d'une caisse en plomb ou en zinc, de même dimension que le carton, ayant des rebords de 4 à

5 centimètres, dans laquelle il a coulé du plâtre fin ; sur cette aire bien plane, on a tracé au crayon noir le dessin à reproduire. Le mosaïste entame et enlève de proche en proche, avec un petit ébauchoir, le plâtre qu'il s'agit de remplacer par les morceaux d'émail : ceux-ci sont assortis en raison de la couleur et de la nuance données par le carton ; il garnit la place creusée de sable humide, un peu onctueux; c'est une terre volcanique venant du Vésuve. Les cubes sont ainsi ajustés les uns contre les autres ; à mesure que le travail s'exécute, on enlève avec l'outil de nouvelles tranches de plâtre ; pour les parties courbes, les émaux sont usés d'après la place qu'ils doivent occuper sur une plate-forme en acier recouverte d'émeri humecté d'eau, à laquelle on imprime, à la main ou avec une pédale, un mouvement de rotation.

Lorsque la mosaïque est terminée, on colle à sa surface une feuille de papier et de la toile de manière à déterminer l'adhérence de tous les morceaux d'émail à la surface du papier; on retourne la caisse et, la terre étant enlevée, on applique la mosaïque sur un mortier de ciment romain, composé de chaux et de pouzzolane; après la prise du mortier, tous les cubes y étant solidement fixés, on mouille et on enlève le papier ou la toile. Il ne reste plus qu'à mettre la mosaïque en place sur le mur qu'elle doit décorer.

Pour les fonds dorés, les émaux sont faits par le procédé que nous avons décrit, d'après Éraclius et le moine Théophile; l'émail qui forme le fond est rouge ou vert, selon la nuance que l'or doit avoir;

on applique à sa surface une feuille d'or sur laquelle on pose un morceau de verre incolore ou coloré très-mince qu'on fait adhérer au feu : on obtient les tons verts à reflets métalliques en appliquant sur l'émail une feuille d'argent sur laquelle on fixe par le feu une lame de verre vert.

Les mosaïques en verre qui décorent l'avant-foyer du nouvel Opéra de Paris, dont l'effet décoratif est très-remarqué, ont été exécutées à Venise par M. Salviati, qui a acquis dans ce genre de travail une grande notoriété. Les dessins sont de M. Curzon. L'architecte de ce somptueux édifice, M. Ch. Garnier, a tiré un grand parti des mosaïques en pierre et en marbre pour le dallage des paliers, des corridors, des salles de tous les étages et des mosaïques en verre pour les voûtes de l'avant-foyer : ces dernières ont été expédiées à Paris sur leurs cartons auxquels elles adhéraient par leur face extérieure. Les cartons retournés ont été appliqués par la face intérieure contre le mur revêtu de petits clous et de ciment : lorsque la prise du ciment a été faite, on a ruiné la matière du carton de manière à faire apparaître dans tout son éclat la peinture vitreuse.

Le succès de ce genre d'ornementation a attiré l'attention des artistes et du gouvernement sur l'intérêt que présente l'art du mosaïste : une école de mosaïque vient d'être annexée à la manufacture nationale de porcelaine de Sèvres; des artistes romains y exécutent d'importants travaux avec l'habile concours du directeur de cet établissement, M. Louis Robert; les émaux viennent du Vatican : ils seront

bientôt fabriqués à Sèvres ou dans les usines des environs de Paris. Ainsi se trouve rétablie l'école de mosaïque fondée à Paris, en 1806, par l'empereur Napoléon Ier, sous la direction de Belloni; cette école a montré dans nos expositions, jusqu'en 1830, des ouvrages d'un grand prix qui étaient exécutés, pour la plupart, par des sourds-muets.

L'art du mosaïste est pratiqué avec succès en Russie; on se souvient des magnifiques spécimens qui figuraient aux dernières Expositions universelles : ces mosaïques, d'un puissant effet décoratif, ont été fabriquées avec des émaux provenant de la manufacture impériale de cristaux de Saint-Pétersbourg. Cet art, en raison des frais auxquels il entraîne, ne peut guère exister qu'avec l'aide et le concours de l'État. Il permettra sans doute de remplacer avec avantage les peintures à fresque, appliquées, sans grande chance de durée, à l'extérieur de quelques-uns de nos édifices. On peut se demander, néanmoins, si le ciment romain dont on fait usage en Italie pour fixer la pâte vitreuse, résistera suffisamment aux rigueurs de notre climat; mais il serait facile de le remplacer par le plâtre dont nous connaissons si bien l'emploi et la durée.

CHAPITRE HUITIÈME

Verres de montre.

La fabrication des verres de montre est de toutes les industries du verre celle qui a subi le plus de changements depuis une cinquantaine d'années. Quelques-uns de ses produits sont vendus à des prix extrêmement bas : l'usine de Gœtzenbruck, de MM. Walter-Berger et Cie, livre à raison de 40, 50 et 60 centimes la grosse de très-petits verres de montre réclamés par l'industrie des jouets d'enfants de Nuremberg et par la bijouterie. On sait que la grosse (composée de 12 douzaines) contient 144 pièces[1].

Autrefois les verres de montre étaient de simples

1. La verrerie de Gœtzenbruck est située dans la partie la plus boisée de notre ancien département de la Moselle; elle avait reçu en 1721, du duc Stanislas, une affectation de chauffage qu'une loi de 1827 lui a retirée. Dès le commencement du siècle dernier, cette verrerie avait une certaine importance pour la fabrication des verres de montre; elle tient depuis longtemps le premier rang pour cette industrie et pour celle des verres de lunettes. Elle occupe 1,200 à 1,500 ouvriers.

calottes de sphères découpées, au moyen d'anneaux en fer rougis au feu, dans de petits ballons soufflés avec des cannes de très-petite dimension. Ces calottes devaient avoir assez de flèche pour laisser libre le mouvement des aiguilles de la montre ; leur cassure étant irrégulière, elles étaient égrugées rapidement avec de mauvais ciseaux ; puis leurs bords coupants étaient usés au grès sur une plaque en fonte ou bien ils étaient taillés à la meule.

L'invention des montres à cylindres permit d'employer des verres beaucoup plus plats et rendit plus sensible l'inconvénient des verres bombés. Quelques horlogers de Paris firent des verres *chevés* pour les montres de luxe; ceux de Genève les imitèrent et arrivèrent à rendre cette fabrication réellement industrielle. A l'origine, ce genre de produit s'exécutait à l'aide d'une plaque ronde en verre ou en cristal, dans laquelle on creusait à la roue la cavité nécessaire pour le passage des aiguilles : on ajustait le bord et on le taillait en biseau de manière à ce qu'il pût entrer dans la rainure ou *drageoir* du couvercle de la montre. En raison de la main-d'œuvre, ces verres coûtaient fort cher; les horlogers les vendaient de trois à cinq francs la pièce.

On fit vers 1830 à Gœtzenbruck des verres dits chevés d'une façon beaucoup plus économique, en soufflant des paraisons ayant la forme de petites fioles à fond plat; celui-ci, étant détaché, fournissait cette sorte de verre. Ces fioles étaient soufflées sans moule par des ouvriers très-habiles : un compas leur donnait le diamètre de la pièce à fabriquer.

Ces produits se fabriquaient aussi en Bohême de la même façon. Le fond de la fiole était détaché au verre chaud, et on lui ménageait un rebord un peu relevé qu'on taillait en biseau afin qu'il pût s'ajuster dans la rainure du couvercle de la montre. Ainsi chaque verre chevé provenait d'une seule fiole soufflée; ce qui en rendait le prix assez élevé, malgré la rapidité avec laquelle on opérait. Ces verres valaient 50 à 60 fr. la grosse.

Un peu plus tard, on fit des verres chevés *doubles,* c'est-à-dire plus épais; fabriqués dans la même usine, ils se livraient au commerce au prix de 60 francs le grosse : ce prix est aujourd'hui de 10 à 12 francs. Un grand perfectionnement avait été apporté à leur fabrication : au lieu de souffler une petite boule pour chaque verre (fig. 70 A), on découpait, à l'aide d'un diamant monté sur une sorte de compas, un certain nombre de calottes sur des ballons ayant un diamètre d'environ 15 centimètres; le diamant formait la pointe mobile du compas : l'autre pointe était remplacée par une pièce en cuir ou en peau de chamois ayant sur la boule de verre son point d'appui. La branche du compas qui portait le diamant pouvait être allongée ou raccourcie à volonté, suivant le diamètre des verres à découper.

Par ce procédé, on n'utilisait encore que 15 pour 100 du verre des boules; le reste, soit 85, tombait dans les déchets ou groisils.

Cette méthode a été beaucoup améliorée depuis une quinzaine d'années par les habiles directeurs de l'usine de Gœtzenbruck, MM. A. et T. Walter, aux-

quels l'industrie des verres de montre doit ses plus notables progrès : les petites calottes des sphères sont découpées dans de très-grandes boules, ayant de 0^{m},75 à 0^{m},80 de diamètre. Dans un seul de ces ballons, on découpe jusqu'à quatre grosses de verres de montre, sans compter plusieurs centaines de petits verres pour les montres et jouets de Nuremberg que des enfants savent encore en tirer. On utilise environ la moitié du verre, au lieu de 15 pour 100.

Ces progrès, ajoutés à d'autres perfectionnements apportés à la taille et au polissage des verres de montre, firent successivement abaisser le prix de revient ; aujourd'hui les verres chevés *simples* sont livrés au commerce au prix de 7 à 8 francs la grosse ; on vend même à 2 fr. 50 des verres de troisième choix destinés à l'exportation ; les verres *épais* valent 10 à 12 francs.

Les grandes boules dont nous venons de parler, qui ont quelquefois jusqu'à un mètre de diamètre, doivent être soufflées très-minces, puisqu'elles ne doivent avoir que l'épaisseur du verre de montre variant de un millimètre à un millimètre et demi, selon qu'il est *chevé simple* ou *chevé épais*. Le souffle du verrier ne serait point assez puissant pour faire des boules d'aussi grande dimension ; car à mesure que le verre diminue d'épaisseur en soufflant la boule, il se refroidit et il devient bien vite trop résistant. Il faut donc arriver à produire cette boule très-rapidement pendant que le verre est encore chaud et malléable

A Gœtzenbruck, on procède de la manière suivante : le souffleur cueille six à huit kilogrammes de verre avec une canne d'assez forte dimension ; il arrondit son verre dans un bloc de bois mouillé servant de mailloche : en même temps il souffle

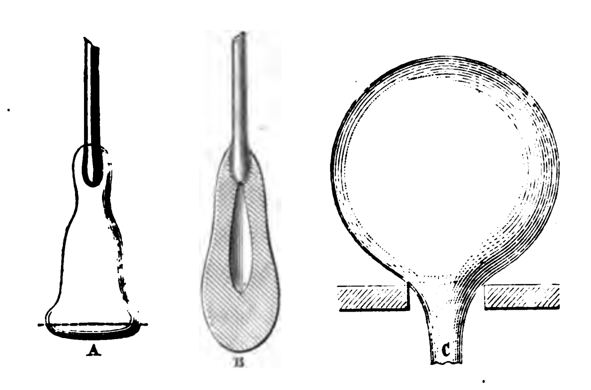


Fig. 70

légèrement d'abord ; puis quand le souffle paraît dans le verre à l'extrémité de la canne, il souffle un peu plus fort, en la balançant de manière à former une paraison un peu allongée, terminée en forme de poire ; avec ses outils, il lui donne sur le banc du verrier la forme représentée ci-dessus (fig. 70 B).

Cette paraison est réchauffée dans le four ; le verrier souffle de nouveau pour en agrandir l'extrémité ; puis il achève très-rapidement sa pièce au moyen d'une machine soufflante mise en mouvement par une petite locomobile de trois chevaux. La boule terminée est détachée de la canne et placée sur un chevalet en bois (fig. 70 C). Le verre est tellement

mince que, pour le débiter, il n'est pas nécessaire de le recuire.

Découpage des boules. — Au moyen de tiges de fer chauffées au rouge, on découpe les boules en gros morceaux ayant 0m,20 de largeur sur 25 à 0m,30 de longueur ; c'est de ces bandes qu'on tire les petites calottes très-plates qui fournissent les verres de montre.

On se sert, à cet effet, d'une *tournette*, sorte de compas dont la pointe traçante est terminée par un diamant (fig. 71).

Cette tournette se compose d'un bâtis en métal A, B, C, D, E. La base A, B est large et présente beaucoup d'assiette. La tige C, D, E, courbée à angle

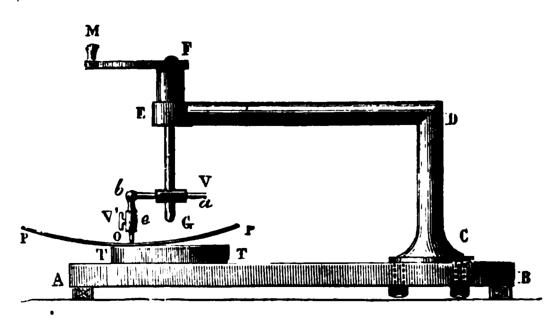


Fig. 71.

droit en D, est fixée solidement à la base A, B au moyen d'écrous. A son extrémité se trouve une tige verticale F, G, terminée par une manivelle M ; un peu au-dessus de l'extrémité inférieure G, elle porte un renflement creux, en forme de manchon, dans

lequel passe une petite tige en fer courbée à angle droit *a, b, e,* qui peut glisser à volonté de manière à augmenter ou à diminuer à volonté le diamètre du cercle fourni par le compas; une vis de pression V sert à la fixer. A son extrémité O se trouve le diamant.

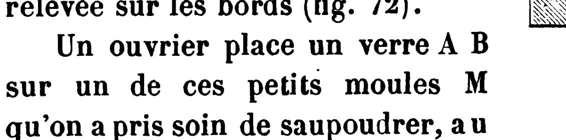
La feuille de verre PP, qui repose sur la plate-forme TT, est découpée par une ouvrière qui fait faire avec une main un tour à la manivelle M, tandis que de l'autre elle tient cette plaque ; elle trace rapidement avec le diamant des cercles sur toute la surface du verre; puis elle passe la plaque à une autre ouvrière qui en détache les rondelles. Celles-ci sont triées et classées.

Ce sont ces disques très-plats qu'on transforme en verres chevés en en relevant les bords ; on les introduit dans une petite moufle en terre réfractaire chauffée au coke. Dans l'intérieur de cette moufle se trouvent plusieurs petits moules en terre très-fine, ayant exactement la forme que doit prendre le verre chevé, c'est-à-dire une surface presque plane, légèrement relevée sur les bords (fig. 72).





Fig. 72



Un ouvrier place un verre A B sur un de ces petits moules M qu'on a pris soin de saupoudrer, au moyen d'un sachet, d'une poudre impalpable de chaux et d'argile pour empêcher l'adhérence du verre; il pousse rapidement le moule dans la moufle à l'aide d'un petit crochet en fer; puis, quand le

verre est suffisamment ramolli, il le retire avec le même crochet et il frotte le verre avec un tampon de papier de manière à lui faire prendre bien exactement la forme concave du moule.

Avec un ouvrier exercé, qui peut conduire plusieurs moufles, cette opération se fait très-rapidement. Mais le moule et le tampon laissant des marques sur les deux surfaces du verre, celles-ci ont besoin d'être repolies; ce qui augmente notablement le prix de revient de ces verres chevés.

Une autre méthode, inventée et brevetée par MM. Walter, Berger, consiste à employer, pour faire le même travail, des moules en terre *convexes*, qui remplacent les moules *concaves* dont il vient d'être question, Le disque de verre A B (fig. 73) déborde légèrement le moule sur toute sa circonférence; quand le verre est assez chaud, il est ramené avec son support sur une petite plate-forme en fonte placée en avant de la moufle; l'ouvrier *capuchonne* le verre avec une petite calotte en bois de forme conique : comme la partie qui fait saillie est ramollie avant le restant du verre, on peut n'agir que sur elle; cette opération est beaucoup plus rapide que la précédente et les bords seuls sont à polir. Ce dernier travail se fait au moyen d'une meule en pierre ou en grès très-dur ; on forme ainsi le biseau légèrement arrondi qui permet de loger le verre dans le drageoir de la montre; ce biseau est ensuite soumis au polissage au moyen de la roue de liége.

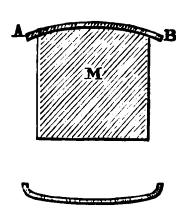


Fig. 73

Cette dernière façon a été encore simplifiée par M. Walter : le verre de montre, après qu'il a été découpé au diamant, est immédiatement porté à la taillerie ; la meule de grès donne le biseau; puis, sans être poli, on lui donne à la moufle la forme du verre chevé; l'action du feu, en le ramollissant pendant l'opération du moulage, arrondit le tranchant du biseau taillé et le rend parfaitement clair, brillant et, en même temps, plus dur, plus solide, moins sujet à s'écailler lorsqu'on le place dans la rainure de la montre. Le *ciselage* servant à égaliser le bord, le *ravattage* pour en arrondir le tranchant, et le *polissage* qui finissait le travail, se trouvent supprimés.

Une fois terminés, les verres sont classés en raison de leurs différentes qualités, calibrés d'après leur diamètre et de leur courbure : chaque pièce est enveloppée séparément dans du papier; elles sont ensuite réunies par douzaines et empaquetées par demi-grosses. Ces verres sont ainsi livrés au commerce, suivant le numéro du choix et en qualité ordinaire, à des prix qui varient entre 2 fr. 50 et 8 francs la grosse, soit 1.7 à 5 centimes la pièce.

Composition. — La matière vitreuse employée pour les verres de montre doit être très-dure, afin de ne pas se rayer ni se dépolir par l'usage : elle ne doit pas être hygrométrique ; il est essentiel, en effet, qu'elle ne se couvre point de buée, ainsi que cela arrive aux verres tendres, fusibles, trop chargés d'alcalis. En consé-

quence, ce verre, étant très-siliceux, ne peut être fondu qu'à une température très-élevée. On fait usage, à Goetzenbruck, de la composition suivante :

Sable	65
Carbonate de soude à 90°	17
Carbonate de potasse	6
Chaux	10
Azotate de soude	1,5
Arsenic	0,5
	100,0

Un morceau de ce verre cassé raye le verre blanc pour gobeleterie, comme le ferait une pointe d'acier.

Dans cette fabrication, la main-d'œuvre représente à peu près les deux tiers du prix de revient; les matières premières et le combustible, l'autre tiers.

CHAPITRE NEUVIÈME

Verres pour l'optique. — Crown-glass. Flint-glass.

Les instruments d'optique exigent l'emploi de deux espèces de verre ayant des densités différentes; c'est ainsi qu'ils deviennent *achromatiques*.

On sait que la découverte de l'achromatisme est due à Euler, qui eut, en 1747, l'idée si féconde de corriger par l'emploi de plusieurs substances diaphanes l'aberration qui résulte de la décomposition de la lumière dans les verres sphériques.

La théorie d'Euler fut d'abord attaquée par Jean Dollond, célèbre opticien de Londres. Mais cet artiste se convainquit bientôt, par des expériences multipliées, que les verres alors connus et fabriqués en Angleterre sous les noms de *flint-glass* et de *crown-glass*, c'est-à-dire le cristal ordinaire à base de plomb et le verre à vitre en couronne, permettaient de réaliser le projet d'Euler et d'obtenir des lunettes achromatiques. Une patente fut accordée en 1759 à cet opticien, qui présenta bientôt à la Société royale de Londres une lunette achromatique à triple objectif,

dont l'existence fit dans l'Europe savante une grande sensation.

Deux célèbres géomètres, membres de notre Académie des sciences, Clairault et d'Alembert, déterminèrent les courbures sphériques des verres de forces dispersives inégales. Clairault reconnut, en outre, qu'on trouvait à Paris un verre dont la force dispersive était plus grande que celle du flint-glass anglais; mais ce verre, très-riche en plomb, qui servait à imiter le diamant et qui était fabriqué par l'artiste *Strass*, « est ordinairement, dit Rochon dans un rapport fait à l'Académie, tellement gélatineux, qu'il est bien difficile de l'employer à la fabrication des objectifs achromatiques ».

En 1766, l'Académie des sciences proposa un prix pour celui qui ferait connaître le meilleur procédé de fabrication d'un verre pesant, exempt de défauts, ayant toutes les propriétés du flint-glass; bien que ce prix ait été décerné en 1773, un autre concours pour la même question fut ouvert en 1786; la valeur du prix fut portée à 12,000 livres.

Malgré ces encouragements, et en dépit des efforts de d'Artigues, de Dufougerais, etc., ce difficile problème resta sans solution satisfaisante.

Il était réservé à un ouvrier suisse de porter à un haut degré de perfection la fabrication des verres d'optique. Pierre-Louis Guinand, né aux Brenets, petit village des environs de Neufchâtel, d'abord apprenti menuisier, puis fabricant de boîtes pour les horloges, se trouva en relation avec Droz, constructeur de figures automatiques, lequel possédait un

beau télescope fabriqué en Angleterre. Animé d'un grand désir d'apprendre et d'une persévérance à toute épreuve, le jeune Guinand parvint à en construire un dont la qualité n'était pas inférieure à celle du modèle. Dès que la découverte des verres achromatiques lui fut connue, il entreprit une très-longue série d'essais dans le but d'améliorer leur fabrication. Il parvint enfin à faire des disques de flint-glass parfaitement homogènes, ayant jusqu'à 12 pouces de diamètre; il en obtint même un de 18 pouces, mais qui fut détruit dans un incendie qui éclata dans sa modeste habitation.

La réputation des verres de Guinand arriva jusqu'à Frauenhofer, célèbre fabricant d'instruments d'optique à Benedictbeurn, en Bavière, qui, en 1805, décida Guinand à devenir son associé. Pendant neuf années, Guinand se livra exclusivement à cette fabrication en Bavière, au grand profit de la réputation des instruments de Frauenhofer.

Guinand avait soixante-dix ans lorsqu'il retourna dans son pays natal, avec une pension qui lui était faite par l'établissement bavarois, à la condition qu'il cesserait de produire des verres d'optique et qu'il ne divulguerait pas les procédés qu'il avait découverts. Mais son esprit ardent et tenace ne put pas supporter longtemps cette contrainte; entrevoyant de nouvelles améliorations, il déchira son traité et se livra de nouveau à ses recherches favorites. Il produisit encore plusieurs lunettes astronomiques d'une rare perfection. Il mourut en 1821, à quatre-vingts ans, au moment où le gouvernement français cherchait à

acquérir ses procédés de fabrication. Ces procédés, qu'on crut d'abord perdus, avaient été conservés par son fils, qui voulut les vendre à la Société astronomique de Londres. Mais, les négociations entamées n'ayant pas abouti, une commission, composée de Herschell, Faraday, Dollond et Roget, fut chargée de faire des expériences pour arriver à fabriquer du bon flint-glass; ces essais, auxquels une somme de 150,000 fr. fut consacrée, n'amenèrent aucun résultat pratique.

La Société d'encouragement pour l'industrie nationale a été plus heureuse; elle proposa, en 1837, un prix de 10,000 fr. à décerner au verrier français qui aurait livré au commerce du flint-glass de bonne qualité; un autre prix, de la valeur de 4,000 fr., fut proposé en même temps pour la fabrication du crown-glass.

Ces prix furent partagés, en 1839, entre M. Guinand fils, qui fit connaître et perfectionna le procédé inventé par son père, et M. Bontemps, qui avait produit, par le même procédé qu'il tenait de M. Guinand fils et qu'il avait lui-même amélioré, des masses volumineuses de flint-glass. D'autres récompenses pour le même objet furent accordées à M[me] veuve Guinand, à M. Daguet, de Soleure, et à M. Berthet, lesquels ont fabriqué aussi des verres d'optique de bonne qualité en se servant du procédé découvert par Guinand.

Ainsi, grâce à l'intervention de la Société d'encouragement, les procédés de Guinand sont aujourd'hui connus et employés dans plusieurs établisse-

ments français et étrangers qui fournissent aux opticiens du flint et du crown de bonne qualité. L'art de la photographie a beaucoup augmenté la consommation de ces verres.

On peut dire que cette fabrication est restée, depuis son origine, entre les mains de la même famille ; M. Ch. Feil, arrière-petit-fils de Guinand, fait aujourd'hui à Paris les verres d'optique les plus estimés ; il a lui-même apporté dans l'industrie créée par son bisaïeul d'importants perfectionnements. Les disques en crown et en flint qu'il avait envoyés à l'Exposition de Vienne, en 1873, étaient d'une beauté remarquable ; ils avaient jusqu'à 53 centimètres de diamètre (20 pouces). Ces disques étaient polis sur les faces et sur les côtés, de manière à rendre possible leur examen sommaire sous le rapport de la qualité.

La densité de flint pour les objectifs astronomiques varie de 3.64 à 3.59 ; celle du crown de 2.46 à 2.50 ; pour les objectifs de photographie, qui doivent être en verre très-blanc, la densité est de 3.54 à 3.00 pour le flint et de 2.90 à 2.54 pour le crown. Pour les microscopes, on peut faire usage de flint d'une densité plus forte, soit 4.0, qu'on combine avec un crown léger. M. Feil a même obtenu du flint ayant 5.5 pour densité ; c'est le verre le plus réfringent qu'on connaisse. Les verres de ce fabricant sont aujourd'hui recherchés par les opticiens de tous les pays.

Malgré ces progrès, la fabrication des disques de flint et de crown pour les grandes lunettes astrono-

miques présente encore d'extrêmes difficultés; des verres, dont l'apparence est très-belle, donnent des résultats médiocres ou nuls lorsqu'ils sont soumis à l'opération très-coûteuse de la taille. On voyait à l'Exposition de Londres, en 1851, un disque de flint de 74 centimètres de diamètre (29 pouces), pesant plus de 200 kilogrammes, fabriqué chez MM. Chance, de Birmingham; un autre disque de crown-glass, à peu près de même dimension, a été fait depuis dans les mêmes ateliers. Ces verres ont été achetés par l'Observatoire de Paris, sous certaines réserves. Bien que leur apparence fût satisfaisante, comme ils étaient à l'état brut, il n'était pas possible de dire par avance s'ils possédaient toutes les qualités voulues pour faire une bonne lunette; à la suite de longues épreuves, l'expérience a prouvé que ces qualités n'existaient pas. La belle découverte des miroirs argentés, due à M. Foucault, rend aujourd'hui moins importante la fabrication si coûteuse et si difficile de ces grands objectifs. Néanmoins l'emploi de ces miroirs offre aussi de sérieuses difficultés, en raison des courbures à donner et de la flexion du verre.

Fabrication du flint-glass. — Ce verre, quand il est de bonne qualité, doit être à la fois très-dense et très-homogène, parfaitement exempt de stries et de bulles; il faut qu'il soit aussi peu coloré que possible; néanmoins la grande quantité d'oxyde de plomb qu'il renferme lui donne toujours une teinte un peu jaunâtre.

Voici la composition du flint-glass de M. Guinand :

Silice	42,5
Oxyde de plomb	43,5
Potasse	11,7
Alumine	1,8
Chaux	0,5
Acide arsénique	trace.
	100,0

Cette analyse est de M. Dumas.

La proportion considérable d'oxyde de plomb que renferme ce verre rend sa fabrication fort difficile ; pendant qu'il est liquide, il tend à se partager en couches de diverses densités. De là des variations dans le pouvoir réfringent des couches superposées ; de là aussi la déformation des images, qui rend l'emploi du flint impossible dès qu'il présente la moindre strie.

Cette séparation des verres plombeux en tranches plus ou moins denses se fait également sentir dans le cristal ordinaire, ainsi qu'on peut le constater en examinant avec attention un morceau de cristal taillé un peu épais. Comme, d'ailleurs, les pièces sont ordinairement soufflées et assez minces, ce défaut a peu d'importance pour le cristal.

Le tour de main de Guinand, suivi par tous ses successeurs, consiste à empêcher la séparation de ces zones d'inégale densité en brassant le verre fondu jusqu'au moment où il devient suffisamment visqueux pour que ces couches plus ou moins denses ne puissent plus se former.

Pour fabriquer le flint-glass, M. Bontemps se servait de la composition suivante :

Sable.	100 kilogr.
Minium.	100 —
Potasse.	30 —

Ces matières sont choisies aussi pures que possible.

La fonte se fait dans un four rond, au centre duquel se trouve le pot, qui est couvert.

Le creuset (fig. 75, A) étant chauffé à part dans un four spécial, on l'introduit par les moyens ordi-

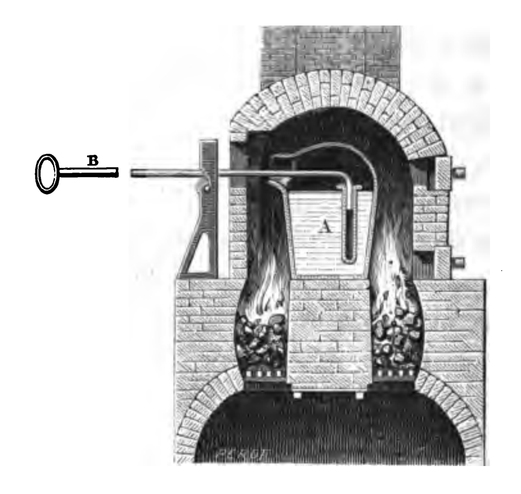


Fig 75.

naires dans le four de fusion également chauffé. Cette opération refroidit le four et le creuset; on les réchauffe avant d'enfourner.

On débouche l'ouverture du creuset, qui est garnie de deux couvercles destinés à empêcher la fumée de s'introduire dans son intérieur, et on y enfourne le mélange, par portions de 20 à 40 kilogrammes. Au bout de huit à dix heures, la totalité du mélange se trouve dans le creuset. On chauffe pendant quatre heures, puis on enlève les couvercles qu'on avait remis en place, et on introduit dans le creuset un cylindre en terre préalablement chauffé au rouge blanc. Une longue barre à crochet B, horizontale et s'appuyant sur un support à rouleau en fer, est introduite dans la cavité ménagée dans la tête du cylindre; on fait un premier brassage qui sert à l'*enverrer*. Au bout de trois minutes, la partie courbe de la barre de fer est portée au rouge blanc. On l'ôte, on pose le bord du cylindre sur le bord du creuset; ce cylindre flotte, légèrement incliné, sur la masse vitreuse. On remet les couvercles et on continue à chauffer. Cinq heures après, on brasse de nouveau. Les brassages se succèdent alors d'heure en heure, ne durant que les quelques minutes suffisantes pour porter au rouge blanc un crochet de fer.

Après six brassages, on laisse refroidir le four pendant deux heures, pour faire monter les bulles qui ne sont pas encore dégagées; puis on le chauffe à son maximum pendant cinq heures. Le verre est très-liquide et entièrement exempt de bulles. On le brasse sans discontinuer pendant deux heures; aussitôt qu'une barre à crochet est chaude, on la remplace par une autre. Comme on a eu soin de boucher les

grilles par dessous, la matière, en se refroidissant, prend une certaine consistance, et quand le brassage ne se fait plus qu'avec beaucoup de difficulté, on ôte le cylindre du creuset. Celui-ci est bouché, ainsi que les ouvertures du four. Au bout de huit jours, on sort le creuset, on le casse et on en sépare les débris avec précaution; le flint s'y trouve ordinairement en une seule masse. Des faces parallèles polies sont alors faites sur les côtés de cette masse pour examiner son intérieur et voir comment elle doit être débitée. On la scie en tranches parallèles et en raison des défauts qu'elle peut présenter. Quant aux fragments, on en fait des disques en les chauffant dans des moules en terre à la température nécessaire pour les ramollir.

Fabrication du crown-glass. — Ce verre présente la composition du verre à vitre et du verre à glace. On emploie même beaucoup, pour les lunettes de spectacle et pour les objectifs de petite dimension, la *plaque* de Saint-Gobain; c'est le verre à glace de cette manufacture.

La fabrication du crown est plus difficile encore, sujette à plus d'accidents que celle du flint. Elle exige une température plus élevée : si on essaye de rendre ce verre plus fusible, il attire l'humidité, il *ressue.* L'obligation d'essuyer fréquemment les verres d'une lunette en ôte le poli et déforme les courbures. Cet inconvénient est surtout très-grand pour les lunettes marines. Si on veut faire le crown plus sec, plus siliceux, c'est alors contre la dévitrification qu'on a à lutter.

M. Bontemps donne, pour la composition d'une potée de crown, les proportions suivantes :

Sable blanc.	120	kilogr.
Potasse.	35	—
Sel de soude.	20	—
Craie.	15	—
Arsenic blanc.	1	—

Ce mélange doit fournir un verre trop alcalin. C'est, d'ailleurs, le défaut qu'on reproche souvent au crown lorsqu'il est fait en mettant peu de chaux pour éviter la dévitrification.

La fonte se fait dans les mêmes conditions que celles du flint. La composition est enfournée par portions dans un creuset couvert de même disposition. Les brassages, le refroidissement, le réchauffage, puis les nouveaux brassages, jusqu'à ce que le verre s'épaississe, présentent, sauf les intervalles de temps qui sont un peu différents, les mêmes phases.

Par le refroidissement, le verre se brise habituellement. Les fragments sont moulés dans des plateaux en terre réfractaires enduits de chaux qui leur donne la forme des disques qu'on soumet ensuite à la taille ; le recuit doit être très-soigné et le refroidissement très-lent, sous peine de produire des verres trempés qui ne sont pas acceptés pour les lunettes astronomiques de quelque valeur.

TABLE DES MATIÈRES

Pages.

CHAPITRE PREMIER.

CHAPITRE DEUXIÈME.

Poterie et fours de verrerie.

CHAPITRE TROISIÈME.

CHAPITRE QUATRIÈME

Verre à vitre.

CHAPITRE CINQUIÈME.

Glaces.

CHAPITRE SIXIÈME.

Bouteilles.

CHAPITRE SEPTIÈME.

Verrerie de luxe et verrerie commune. Gobeleterie en verre et en cristal.

CHAPITRE HUITIÈME

CHAPITRE NEUVIÈME

PARIS. — Impr. J. CLAYE. — A. QUANTIN et Ce, rue St-Benoît. [1677.]

MAR 1 1 1938